



TUGAS AKHIR - RF141501

**IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT AKTIVITAS
LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN TANGGULANGIN
KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE
*GROUND PENETRATING RADAR (GPR)***

ILHAM ADI PRATAMA
NRP - 3712 100 022

Dosen Pembimbing

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT
NIP. 19840911 201404 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RF141501

**IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT AKTIVITAS
LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN TANGGULANGIN -
KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE *GROUND
PENETRATING RADAR (GPR)***

ILHAM ADI PRATAMA

NRP - 3712 100 022

Dosen Pembimbing

Dr. Dwa Desa Warnana

NIP - 19760123 200003 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT

NIP - 19840911 201404 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya 2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**IDENTIFICATION OF SHALLOW FRACTURE CAUSED BY
SIDOARJO MUD ACTIVITIES IN TANGGULANGIN DISTRICT -
SIDOARJO REGENCY USING GROUND PENETRATING
RADAR (GPR)**

ILHAM ADI PRATAMA

NRP - 3712 100 022

Advisors

Dr. Dwa Desa Warnana

NIP - 19760123 200003 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT

NIP - 19840911 201404 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Surabaya 2017

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT
AKTIVITAS LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN
TANGGULANGIN - KABUPATEN SIDOARJO
MENGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING
RADAR (GPR)***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan

Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 23 Januari 2017

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT
NIP. 19840911 201404 1001

Mengetahui:

Kepala Laboratorium
Geofisika Teknik dan Lingkungan

Dr. Ir. Amien Widodo, M.S
NIP. 19591010 198803 1002

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT AKTIVITAS LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN TANGGULANGIN - KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING RADAR (GPR)*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Januari 2017

Ilham Adi Pratama
NRP 3712100022

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

**IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT
AKTIVITAS LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN
TANGGULANGIN - KABUPATEN SIDOARJO
MENGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING
RADAR (GPR)***

Nama Mahasiswa : Ilham Adi Pratama
NRP : 3712 100 022
Jurusan : Teknik Geofisika ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Dwa Desa Warnana
Firman Syaifuddin, S.Si, MT

ABSTRAK

Rencana pengeboran sumur gas baru PT. Lapindo Brantas di Tanggulangin, Sidoarjo dinilai beresiko karena lokasinya yang dekat dengan pusat semburan yang telah rusak dan masih sangat rawan, sehingga masih ada potensi keluarnya semburan di area tanggul dan sekitarnya jika dibor. Selain itu, aktivitas lumpur sidoarjo menyebabkan kondisi bawah permukaan di daerah penelitian menjadi rentan terhadap resiko rekahan dan penurunan tanah. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian tentang kondisi bawah permukaan dangkal menggunakan metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* yang bertujuan untuk mendeteksi rekahan dangkal yang berada di sekitar daerah rencana pengeboran. Metode GPR dipilih karena dapat memetakan kondisi bawah permukaan yang dangkal secara terperinci dengan resolusi yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian ini, diketahui bahwa pada daerah rencana pengeboran terdapat banyak rekahan berpola radial dengan arah barat daya-timur laut dan rekahan berpola melingkar (*circular*) yang berarah barat laut-tenggara. Kondisi tersebut membuat daerah bawah permukaan di sekitar lokasi rencana pengeboran menjadi tidak stabil dan berisiko karena dapat menyebabkan penurunan tanah di daerah sekitar dan dikhawatirkan dapat memperluas semburan lumpur panas pada daerah penelitian.

Kata kunci: Rekahan, Lumpur Sidoarjo, GPR

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

IDENTIFICATION OF SHALLOW FRACTURE CAUSED BY SIDOARJO MUD ACTIVITIES IN TANGGULANGIN DISTRICT - SIDOARJO REGENCY USING GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

Name of Student : Ilham Adi Pratama
Student ID Number : 3712 100 022
Department : Geophysical Engineering ITS
Advisor Lecture : Dr. Dwa Desa Warnana
Firman Syaifuddin, S.Si, MT

ABSTRACT

PT. Lapindo Brantas's new gas well drilling has potential risk because the location was so closed with the central of mud volcano eruption that already broken and risky. Further breakouts of mud are still possible in embankment and around if there is drilling activity. Sidoarjo mud activities also causing subsurface conditions research area becomes vulnerable to the risk of fractures and land subsidence. Therefore, there should be a study about shallow subsurface conditions using Ground Penetrating Radar (GPR) which aims to detect shallow fracture in the surrounding area of PT. Lapindo Brantas's new gas well drilling plan in Tanggulangin, Sidoarjo. GPR method chosen because it can mapping the shallow subsurface in detail with high resolution. Based on the observation result, it is known that there are lot of fracture with two types, first is radial type with south west-north east direction and second is circular type with north west-south east direction. Fractures show that shallow subsurface condition in PT. Lapindo Brantas's new gas well drilling is very risky because it can lead to decreased land deeper and feared to expand the mud flow in Sidoarjo area.

Keyword: Fractures, Mud Volcano, GPR

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul “IDENTIFIKASI REKAHAN DANGKAL AKIBAT AKTIVITAS LUMPUR SIDOARJO DI KECAMATAN TANGGULANGIN - KABUPATEN SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING RADAR (GPR)*” ini dapat terselesaikan.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Fajar, dan Aisyah berkat dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua jurusan Teknik Geofisika ITS.
3. Dr. Dwa Desa Warnana dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si, MT selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Keluarga Bapak Farich, Elfarabi, dan Triswan yang telah membantu dalam pengambilan dan pengolahan data GPR.
5. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2012 atas semangat dan dukungannya.
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan hasil tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 23 Januari 2017

Ilham Adi Pratama

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Geologi Regional	5
2.2. Metode <i>Ground Penetrating Radar (GPR)</i>	7
2.3. Persamaan Maxwell	9
2.4. Gelombang Radar	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1. Lokasi Penelitian	14
3.2. Peralatan dan Data	14
3.2.1. Peralatan	14
3.2.2. Data	14
3.3. Metodologi Penelitian	15
3.3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	15
3.3.2. Tahapan Pengolahan Data	16
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	40

4.1.	Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 1	40
4.2.	Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 2	47
4.3.	Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 3	49
4.4.	Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 4	53
4.5.	Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 5	54
4.6.	Analisis Pola Rekahan	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1.	Kesimpulan	59
5.2.	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Zona Stratigrafi dan Struktur, 1949 (R. Smyth, Hall, & J. Nichols, 2008).....	6
Gambar 2. 2 Peta Geologi dan Persebaran <i>Mud Vulcano</i> di Jawa Timur. Daerah-daerah di Jawa Timur yang terdapat <i>Mud Volcano</i> ditunjukkan dengan titik merah sedangkan <i>Mud Volcano</i> yang terjadi di Sidoarjo ditunjukkan dengan titik biru (Istadi, Harmono, Sumintadireja, & Alam, 2009).....	7
Gambar 2. 3 Skema <i>Ground Penetrating Radar</i> (Denya, 2007).....	8
Gambar 2. 4 Skema Pengukuran <i>Radar Reflection Profiling</i> (Kazunori, Jan, Holger, & Seiichiro, 2012).....	9
Gambar 3. 1 Lintasan pengukuran GPR (lintasan 1-5) dan lokasi rencana pengeboran (Sumur TA 6 dan 10) (Earth, 2016)	14
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	15
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data.....	17
Gambar 3. 4 Proses <i>adjust signal position</i> pada <i>trace viewer</i>	18
Gambar 3. 5 Proses pemilihan waktu jeda yang akan dipotong	19
Gambar 3. 6 Hasil setelah dilakukan <i>adjust signal position</i>	19
Gambar 3. 7 Hasil <i>dewow filter</i>	20
Gambar 3. 8 Hasil <i>dewow filter</i>	21
Gambar 3. 9 Hasil dari <i>mean attenuation</i>	22
Gambar 3. 10 Hasil dari <i>median attenuation</i>	22
Gambar 3. 11 Hasil <i>remove global background</i>	23
Gambar 3. 12 Proses input parameter <i>mean spatial filter</i>	23
Gambar 3. 13 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [1x1]	24
Gambar 3. 14 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [1x3].....	24
Gambar 3. 15 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [1x5].....	25
Gambar 3. 16 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [1x8].....	25
Gambar 3. 17 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [5x1].....	25
Gambar 3. 18 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [8x1].....	26
Gambar 3. 19 Hasil <i>mean spatial filter</i> dengan parameter [3x1].....	26
Gambar 3. 20 Proses <i>cutoff</i> pada <i>band pass filter</i>	27
Gambar 3. 21 Hasil dari <i>band pass filter</i>	27
Gambar 3. 22 Proses input nilai <i>eigenvector</i>	28
Gambar 3. 23 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 1	29
Gambar 3. 24 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 3	29
Gambar 3. 25 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 5	30
Gambar 3. 26 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 7	30
Gambar 3. 27 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 9	31
Gambar 3. 28 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 12	31
Gambar 3. 29 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 15	32
Gambar 3. 30 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 18	32

Gambar 3. 31 Hasil menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> = 21.....	33
Gambar 3. 32 Hasil penampang residual menggunakan nilai <i>eigenvectors</i> 15	33
Gambar 3. 33 Proses input jumlah lapisan.....	34
Gambar 3. 34 Proses input nilai kecepatan lapisan	34
Gambar 3. 35 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.05 m/ns	35
Gambar 3. 36 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.06 m/ns	35
Gambar 3. 37 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.07 m/ns	36
Gambar 3. 38 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.08 m/ns	36
Gambar 3. 39 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.09 m/ns	37
Gambar 3. 40 Hasil <i>1D Phase Shifting Migration</i> dengan <i>velocity</i> 0.1 m/ns	37
Gambar 3. 41 Hasil profil GPR dengan <i>1D Time to Depth Conversion</i> 38	
Gambar 4. 1 (a) Contoh pola rekahan pada struktur menembus aktif (active piercement structures) tampak atas, (b) penampang bawah permukaan dari pola rekahan pada stuktur menembus aktif (active piercement structures) (Yin & Jr, 2004).	41
Gambar 4. 2 Stuktur dasar dan anomaly <i>mud volcano</i> (Istadi, Wibowo, Sunardi, Hadi, & Sawolo, 2012)	42
Gambar 4. 3 Radargram pada lintasan 1 – segmen 1 dan 2, barat timur.	43
Gambar 4. 4 Radargram pada lintasan 1 – segmen 3 dan 4, barat timur.	43
Gambar 4. 5 Radargram pada lintasan 1 – segmen 5 dan 6, barat timur.	44
Gambar 4. 6 Radargram pada lintasan 1 – segmen 7, barat timur.	45
Gambar 4. 7 Radargram pada lintasan 1 – segmen 8, utara selatan.	45
Gambar 4. 8 Radargram pada lintasan 1 – segmen 9 dan 10, barat timur.	46
Gambar 4. 9 Radargram pada lintasan 1 – segmen 11 dan 12, barat timur.	46
Gambar 4. 10 Radargram pada lintasan 2 – segmen 1-5, selatan utara.	47
Gambar 4. 11 Radargram pada lintasan 2 – segmen 6-10, selatan utara.	48
Gambar 4. 12 Radargram pada lintasan 2 – segmen 11-14, selatan utara.	49
Gambar 4. 13 Radargram pada lintasan 3 – segmen 1-2, barat timur.	49
Gambar 4. 14 Radargram pada lintasan 3 – segmen 3-4, barat timur.	50
Gambar 4. 15 Radargram pada lintasan 3 – segmen 5-6, barat timur.	50
Gambar 4. 16 Radargram pada lintasan 3 – segmen 7-8, barat timur.	51
Gambar 4. 17 Radargram pada lintasan 3 – segmen 9-10, barat timur.	51
Gambar 4. 18 Radargram pada lintasan 3 – segmen 11-12, barat timur.	52

Gambar 4. 19 Radargram pada lintasan 3 – segmen 13-14, barat timur.	52
Gambar 4. 20 Radargram pada lintasan 4 – segmen 1-2, selatan utara.	53
Gambar 4. 21 Radargram pada lintasan 4 – segmen 3-4, selatan utara.	53
Gambar 4. 22 Radargram pada lintasan 5 – segmen 1-2, selatan utara.	54
Gambar 4. 23 Radargram pada lintasan 5 – segmen 3, selatan utara.	54
Gambar 4. 24 <i>Overlay</i> penampang radargram dari setiap lintasan pengukuran untuk mengetahui posisi-posisi rekahan pada peta daerah penelitian, (a) tampak dari barat daya, (b) tampak dari timur.	57
Gambar 4. 25 Hasil <i>plotting</i> rekahan teridentifikasi ke dalam peta permukaan, membentuk pola rekahan radial dan <i>circular</i> .	58

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Resolusi dan daya tembus gelombang elektromagnetik (MALA GeoScience, 1997).....	9
Tabel 2. 2 Kecepatan dan konstanta dielektrik berbagai medium (MALA GeoScience, 1997).....	12

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

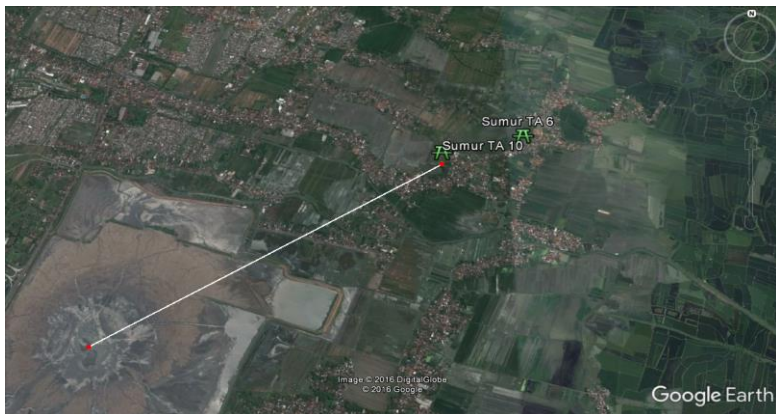
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mud volcano merupakan migrasi dari *fluidized sediment* atau lumpur sedimen yang terjadi di sepanjang bidang lemah seperti sesar atau patahan yang aktif dengan tingkat mobilitas yang tinggi karena *overpressure*. *Mud volcano* di Indonesia merupakan kondisi geologi yang umum terjadi khususnya di bagian Utara pulau Jawa dan pulau Madura (Satyana & Asnidar, 2008).

Pada tahun 2006, terjadi erupsi lumpur dan fluida di Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur yang berdasarkan karakteristik erupsi dan data geologi, disimpulkan sebagai fenomena erupsi *mud volcano*. Meski intensitas semburan utama lumpur Sidoarjo sudah stabil, namun semburan-semburan kecil gas kerap kali terjadi di sekitar semburan utama (Handoko U. H, K. B, 2010).

Pada awal tahun 2016, PT. Lapindo Brantas, Inc merencanakan pengeboran sumur gas baru di Desa Kedungbanteng, Kecamatan Tanggulangin, Kecamatan Sidoarjo, Jawa Timur dengan memerlukan lahan seluas 4.000 meter persegi dan berjarak 3 kilometer dari pusat semburan Lumpur Sidoarjo yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Lokasi rencana daerah pengeboran (tanda hijau) yang berjarak hanya 3 kilometer dari pusat semburan Lumpur Sidoarjo

Pengeboran ini beresiko karena lokasinya yang dekat dengan daerah pusat semburan yang telah telanjur rusak. Menurut penelitian Sungkono et al pada tahun 2014, terdapat potensi aktivitas tektonik dari patahan Watukosek dan Siring seperti yang terlihat pada Gambar 1.2. Hal tersebut juga didukung oleh penelitian Mazzini et al pada tahun 2009 yang menyatakan bahwa deformasi terus terjadi akibat aktivitas Lumpur Sidoarjo sehingga berpotensi

The map shows the Kelurahan Gedang area with various geographical features and flood risk assessment data. The legend includes the following items:

- Mud
- Alluvial
- Fault
- Active Bubble
- Non-active Bubble
- Number of Embankment
- Toll Road
- Arterial Road
- Local Road
- Other Road
- River
- Railway
- Embankment
- Study area

A north arrow is also present on the map.

Metode geofisika yang dapat digunakan untuk memetakan kondisi bawah permukaan daerah rencana penggalian adalah *Ground Penetrating Radar*

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang ada, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

Dari latar belakang yang ada, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi rekahan dangkal di Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo menggunakan metode GPR?
2. Bagaimana pola rekahan dangkal di daerah Tanggulangin, Sidoarjo menggunakan metode GPR?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Pengukuran menggunakan metode GPR hanya dilakukan di Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo.
2. Pengolahan data GPR hanya dilakukan menggunakan perangkat lunak MATGPR.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi rekahan dangkal di daerah Tanggulangin, Sidoarjo menggunakan metode GPR.
2. Mengidentifikasi pola rekahan dangkal di daerah Tanggulangin, Sidoarjo menggunakan metode GPR.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Dapat memberikan gambaran kondisi geologi bawah permukaan dangkal pada daerah Tanggulangin, Sidoarjo sebagai kajian awal sebelum dilakukan pengeboran.
2. Sebagai studi awal tentang *shallow subsurface* yang dapat digunakan sebagai acuan kajian *subsurface* yang lebih dalam.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan makalah ini dibagi menjadi lima bab, yaitu bab pendahuluan, bab tinjauan pustaka ground penetrating radar, bab metodologi penelitian, bab analisis dan pembahasan, serta bab kesimpulan dan saran. Kelima bab ini menjabarkan secara terperinci dari awal mengenai pengolahan data GPR hingga diperoleh hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini.

BAB I adalah bab pendahuluan yang berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, anggapan dasar, hipotesis, serta metode dan teknik pengumpulan data.

BAB II adalah bab teori dasar yang berisi tentang geologi regional daerah penelitian, pengenalan ground penetrating radar (GPR), prinsip kerja GPR serta akuisisi data GPR.

BAB III akan membahas tentang lokasi penelitian, peralatan dan data yang digunakan dalam penelitian, serta tahapan penelitian dan tahapan pengolahan data secara terperinci.

BAB IV menjelaskan tentang analisis dan interpretasi dari hasil pengolahan data GPR untuk mengidentifikasi rekahan beserta polanya.

BAB V bagian paling akhir, berisi kesimpulan tentang hasil penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

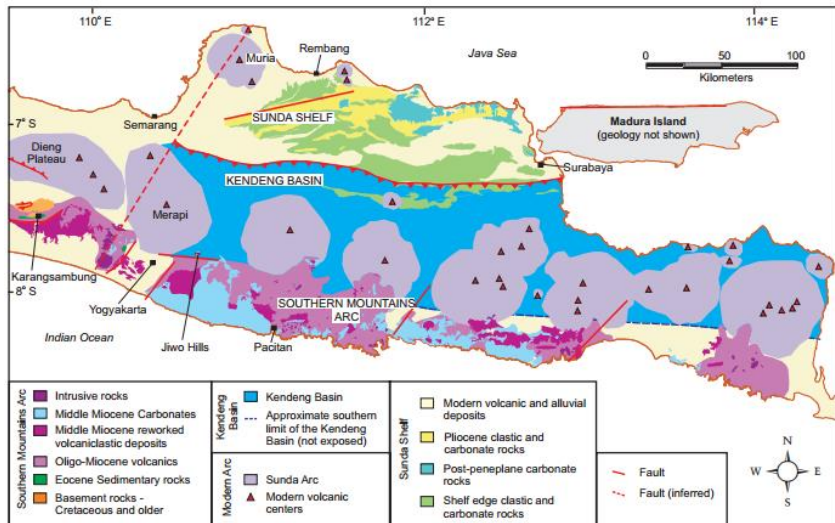
2.1. Geologi Regional

Semburan lumpur panas di Sidoarjo merupakan fenomena geologi yang dikenal sebagai gunung lumpur, yakni keluarnya lumpur yang berasal dari lapisan bawah permukaan. Lumpur yang keluar di permukaan adalah campuran air, padatan, dan gas. Lumpur mempunyai temperatur sekitar 97° C di permukaan ketika diukur pada tahun 2006-2009 (BPLS, 2010).

Berbagai data laboratorium makin menguatkan bahwa fenomena semburan lumpur di Sidoarjo adalah fenomena gunung lumpur, dan bukan fenomena *underground blow out* yang dikenal dalam perminyakan. Dilihat dari sisi geologi, daerah Sidoarjo memiliki lapisan-lapisan batuan sedimen yang cukup tebal, terdiri dari endapan delta dari sistem sedimentasi cekungan busur belakang (*backarc basin*). Pada umumnya terdapatnya sedimen pada sistem sedimentasi ini kaya akan kandungan hidrokarbon, sehingga mempunyai potensi dan prospek sumber daya minyak dan gas bumi (BPLS, 2010).

Batuan di daerah Sidoarjo disusun oleh lapisan batuan sedimen yang terdiri dari batulanau, batulempung, batuserpit, batupasir dan batugamping. Umur batuan sedimen tersebut berkisar antara Miosen Awal hingga Resen. Batuan-batuan ini diendapkan di dalam 'eliosional basin', yaitu cekungan yang sangat dalam dimana formasi-formasi batuan sedimen diendapkan secara cepat (*high sedimentation rate*) dan tertekan secara kuat, sehingga membentuk formasi-formasi batuan bertekanan tinggi (*over pressured rock formations*). Tidak heran dalam cekungan endapan seperti ini muncul struktur-struktur diapir. Struktur-struktur diapir lazim dijumpai di zona depresi yang tertekan secara kuat baik secara tektonik maupun secara sedimentasi. Selain itu, formasi-formasi batuan di daerah Sidoarjo secara geologi regional termasuk ke dalam zona depresi Kendeng yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. (R. Smyth, Hall, & J. Nichols, 2008).

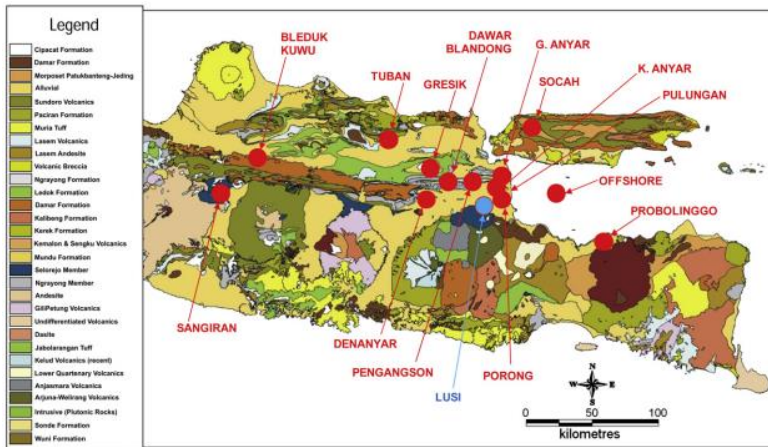
Secara regional, sistem tektonik Jawa Timur dipengaruhi oleh lempeng tektonik Indo-Australia yang bertumbukan dengan lempeng tektonik Eurasia. Lempeng tektonik Indo-Australia melesak masuk ke bawah lempeng tektonik Eurasia. Sebagai hasilnya terbentuk zona subduksi (*subduction zone*), yang juga merupakan pusat gempa, di bagian selatan Jawa Timur. Pergerakan ini diperkirakan sebesar 7 cm/tahun, yaitu lempeng Australia, yang berada di selatan, bergerak ke arah utara, sedangkan lempeng Eurasia di utara bergerak ke arah selatan (BPLS, 2010).



Gambar 2. 1 Zona Stratigrafi dan Struktur, 1949 (R. Smyth, Hall, & J. Nichols, 2008)

Kondisi geologi dan pergerakan lempeng tektonik ini merupakan potensi yang sangat mendukung terhadap terjadinya erupsi lumpur panas di Sidoarjo. Ternyata fenomena erupsi lumpur seperti di Sidoarjo ini bukan yang pertama kali terjadi di sekitar Jawa Timur. Catatan sejarah menunjukkan bahwa fenomena erupsi lumpur telah terjadi sejak jaman kerajaan Jenggala dan Majapahit. Kerajaan di sekitar Jawa Timur ini berlokasi di ujung delta Brantas purba, di mana lokasi semburan lumpur panas di Sidoarjo yang sekarang berada. Fakta sejarah tersebut juga mempunyai analogi kejadiannya yang mirip dengan semburan lumpur di Sidoarjo yang sekarang (Istadi, Harmono, Sumintadireja, & Alam, 2009).

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 di mana terdapat beberapa lokasi yang menjadi tempat semburan lumpur, sisa-sisa gunung lumpur hasil erupsi lumpur dari jaman Kerajaan Majapahit masih dapat ditemukan di sekitar Bandara Juanda, Dusun Kalang Anyar. Ke arah utara dari Kalang Anyar, terdapat jejak gunung lumpur Gunung Anyar. Kedua jejak gunung lumpur ini membentuk kelurusan berarah Timur Laut – Barat Daya dengan lokasi semburan lumpur panas di Porong - Sidoarjo. Di Bangkalan, Pulau Madura, juga ditemukan jejak gunung lumpur. Jika jejak-jejak gunung lumpur ini ditarik garis dari Timur Laut ke Barat Daya hingga melewati Porong akan membentuk kelurusan yang berhimpitan dengan zona Sesar Watukosek (Istadi, Harmono, Sumintadireja, & Alam, 2009).



Gambar 2. 2 Peta Geologi dan Persebaran *Mud Vulcano* di Jawa Timur. Daerah-daerah di Jawa Timur yang terdapat *Mud Volcano* ditunjukkan dengan titik merah sedangkan *Mud Volcano* yang terjadi di Sidoarjo ditunjukkan dengan titik biru (Istadi, Harmono, Sumintadireja, & Alam, 2009).

2.2. Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR)

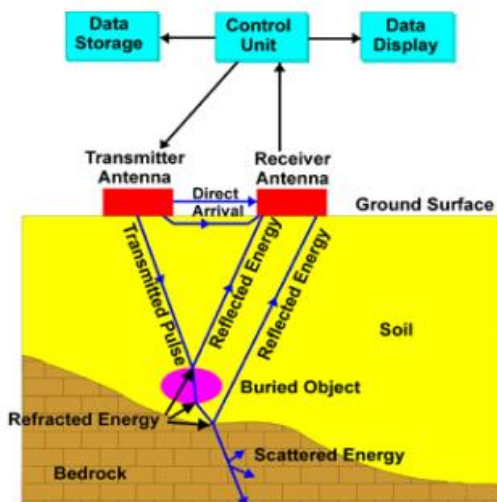
Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan suatu metoda pengukuran geofisika yang menggunakan sinyal gelombang elektromagnetik dalam prinsip kerjanya. Komponen GPR untuk pengukuran kondisi bawah permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 2.3, terdiri dari control unit, antenna transmitter dan receiver dan tempat penyimpanan data (komputer/laptop) (Denya, 2007).

Fungsi dari masing- masing komponen tersebut adalah:

1. *Control unit* berfungsi untuk membangkitkan sinyal pemicu secara serempak ke transmitter dan receiver. Pulsa-pulsa ini mengontrol transmitter dan receiver untuk menghasilkan bentuk gelombang dari pulsa yang dipantulkan. Komputer akan memberikan informasi lengkap bagaimana prosedur yang harus dilakukan. Selain itu, *Control Unit* akan menyimpan data dari setiap posisi dan waktu, serta menyimpan data mentah dalam sebuah buffer sementara dan pada saat dibutuhkan dapat diambil dan ditransfer langsung ke komputer.

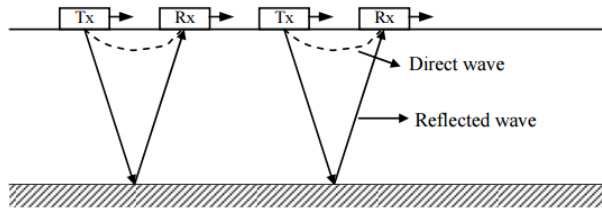
2. Antena transmitter membangkitkan pulsa gelombang EM pada frekuensi tertentu sesuai dengan karakteristik antena tersebut (10 MHz-4GHz). Unit ini menghasilkan energi elektromagnetik dan mengirimnya pada daerah sekitar yang akan diobservasi. Energi dalam bentuk pulsa ini dipindahkan ke bagian antena, kemudian ditransform dan diperkuat tergantung pada frekuensi yang dipakai.

3. Receiver mengkonversi sinyal yang diterima antenna ke bentuk nilai integer. Unit ini diatur untuk melakukan scan yang dapat mencapai 32 – 512 scan per detik. Setiap hasil scan ditampilkan pada layar monitor yang disebut juga radargram, sebagai fungsi waktu *two-way time travel time*, yaitu waktu tempuh gelombang elektromagnetik menjaral dari transmitter – target – receiver. Antena tranmitter dan receiver merupakan tranduser yang mengkonversi arus listrik pada elemen metal antenna yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik untuk merambat ke material. Antena meradiasikan energi elektromagnetik ketika ada perubahan akselerasi arus pada antenna.



Gambar 2. 3 Skema *Ground Penetrating Radar* (Denya, 2007)

Data GPR diambil di sepanjang lintasan dan secara simultan direkam pada *hard drive*. Ketika gelombang radar menemui diskontinuitas struktural (contohnya keretakan, kekosongan atau perbedaan sifat material yang drastis), sebagian dari gelombang tersebut akan dipantulkan dan akan membentuk impuls sekunder. Impuls tersebut kemudian ditangkap oleh antenna receiver dan kemudian direkam berupa data pengamatan, skema dari cara kerja metode GPR dapat dilihat pada Gambar 2.4. Jika data tersebut diinterpretasikan secara benar, maka data tersebut akan menunjukkan struktur bawah permukaan dari benda/material yang ingin kita amati (Denya, 2007).



Gambar 2. 4 Skema Pengukuran *Radar Reflection Profiling* (Kazunori, Jan, Holger, & Seiichiro, 2012)

Pada pola akuisisi penampangan radar refleksi ini, ke dua antenna radar bergerak di atas permukaan tanah secara simultan, dengan waktu tempuh terukur terhadap reflektor radar ditunjukkan pada sumbu vertikal sementara jarak antenna yang bergerak ditunjukkan pada sumbu horizontal. Frekuensi gelombang radar yang dipancarkan dapat diatur dengan mengganti antenna. Dimensi antenna bervariasi dengan frekuensi gelombang radar, sebagai misal antenna 1 GHz berukuran 30 cm sedangkan antenna 25 MHz mempunyai panjang 6 m (Astutik, 2001). Pemilihan frekuensi yang digunakan tergantung pada ukuran target, aproksimasi range kedalaman dan aproksimasi maksimum kedalaman penetrasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Resolusi dan daya tembus gelombang elektromagnetik (MALA GeoScience, 1997)

Frekuensi Antena (MHz)	Ukuran target minimum yang terdeteksi (m)	Aproksimasi range kedalaman (m)	Penetrasi kedalaman maksimum (m)
25	≥ 1.0	5 -30	35 - 60
50	≥ 0.5	5 -20	20 - 30
100	0.1 – 1.0	2 - 15	15 - 25
200	0.05 – 0.50	1 - 10	5 - 15
400	≈ 0.05	1 - 5	3 – 10
1000	Cm	0.05 - 2	0.5 – 4

2.3. Persamaan Maxwell

Metode GPR didasarkan atas persamaan Maxwell yang merupakan perumusan matematis untuk hukum-hukum alam yang berkaitan dengan semua

fenomena elektromagnetik yang menjelaskan bagaimana medan listrik dan medan magnet dapat terjadi. Perumusan Maxwell terdiri dari empat persamaan medan, masing-masing dapat dipandang sebagai hubungan antara medan dan distribusi sumber (muatan atau arus) yang bersangkutan. Persamaan Maxwell untuk medium *isotropic heterogen* dirumuskan sebagai berikut:

$$\nabla \cdot H = \frac{\partial D}{\partial t} + J \quad (2.1)$$

dengan hubungan $D = \varepsilon_o E$, $B = \mu_o H$, $J = \sigma E$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_o} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times B = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial E}{\partial t} + \mu_o J \quad (2.4)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.5)$$

Dalam Satuan Internasional, besaran E dan H adalah intensitas medan listrik dan magnet dan masing-masing diukur dalam satuan [volt/m] dan [ampere/m]. Besaran D dan B adalah kerapatan fluks listrik dan magnetik yang masing-masing diukur dalam satuan [coulomb/m²] dan [weber/m² atau tesla]. D juga disebut sebagai perpindahan listrik (*electric displacement*) dan B juga disebut sebagai induksi magnetik (*magnetic induction*) (Orfanidis, 2002).

Besaran ρ dan J adalah tahanan jenis dan kerapatan arus listrik yang masing-masing diukur dalam satuan [ohm.m] dan [ampere/m²], sedangkan besaran ε_o dan μ_o adalah permitivitas dan permeabilitas dalam ruang hampa yang masing-masing bernilai 8.854×10^{-12} farad/m dan $4\pi \times 10^{-7}$ henry/m, sedangkan besaran σ adalah konduktivitas yang diukur dalam satuan [S/m] (Orfanidis, 2002).

Operasi curl yang dilakukan pada persamaan Maxwell di atas, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times E &= -\nabla \times \left\{ \frac{\partial B}{\partial t} \right\} \\ &= -\nabla \times \left\{ \partial / \partial t (\mu_o H) \right\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times H &= -\nabla \times \left\{ J + \frac{\partial D}{\partial t} \right\} \\ &= -\nabla \times \left\{ \sigma E + \partial / \partial t (\varepsilon_o E) \right\} \end{aligned} \quad (2.7)$$

menggunakan persamaan Maxwell diatas, dapat diturunkan persamaan

gelombang elektromagnetik sebagai berikut:

$$\nabla^2 E = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.8)$$

$$\nabla^2 H = \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad (2.9)$$

dengan kecepatan rambat gelombang di udara dan ruang vakum sebesar:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}} \approx 3,00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (2.10)$$

2.4. Gelombang Radar

Fenomena yang terjadi karena gangguan lokal pada suatu besaran fisis dan adanya perambatan gangguan dalam medium sekitarnya disebut sebagai gelombang. Gangguan tersebut dapat berupa osilasi kedudukan partikel, osilasi tekanan atau kerapatan massa dalam medium bersangkutan, dan osilasi medan listrik atau magnet yang berasal dari osilasi arus atau osilasi rapat muatan listrik. Untuk gelombang elektromagnet, perambatan gangguan lokal tersebut selalu berlangsung dalam medium material (Tjia, 1994).

Kedalaman maksimum yang dapat dicapai oleh impuls radar bergantung dari frekuensi yang dipakai serta pada resistivitas bahan. Semakin tinggi frekuensi radar yang digunakan, semakin rendah daya tembus gelombang radar tersebut, dan semakin rendah frekuensi radar yang dipakai, semakin tinggi daya tembus gelombang radar tersebut. Ketika merambat dalam material, gelombang radar tersebut juga mengalami pengurangan yang berbanding lurus dengan konduktivitas dielektrik bahan tersebut.

Radiasi elektromagnetik yang direfleksikan material bergantung pada kontras konstanta dielektrik relatif perlapasan-perlapasan yang berdekatan. Jika kontras tersebut besar, maka jumlah energi gelombang radar yang direfleksikan juga besar. Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dan energi yang datang. Besarnya R ditentukan oleh kontras kecepatan dielektrik relatif dari medium. Dalam semua kasus magnitudo R berada pada rentang ± 1 . Bagian energi yang ditransmisikan sama dengan $1-R$, sedangkan daya koefisiensi refleksi sama dengan R^2 .

Amplitudo koefisien refleksi diberikan oleh persamaan berikut:

$$R = \frac{(V_1 - V_2)}{(V_1 + V_2)} = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \quad (2.11)$$

dengan V_1 dan V_2 adalah kecepatan gelombang radar pada lapisan 1 dan 2 ($V_1 < V_2$), dan ε_1 , ε_2 adalah konstanta dielektrik relatif (ε_r) dari lapisan 1 dan lapisan 2.

Kecepatan gelombang elektromagnetik pada berbagai medium bergantung pada kecepatan cahaya di udara, konstanta dielektrik relatif (ε_r), dan

permeabilitas magnetik ($\mu_r=1$ untuk materi non magnetik). Selain itu, kecepatan gelombang elektromagnetik tergantung pada jenis bahan dan merupakan fungsi dari permitivitas relatif bahan. Kecepatan gelombang elektromagnetik dalam material (V_m) dirumuskan dalam persamaan berikut (Reynold, 1997):

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\left[\left(\frac{\epsilon_r \mu_r}{2}\right)(1+P^2)-1\right]}} \quad (2.12)$$

dimana V_m adalah kecepatan gelombang elektromagnetik, c adalah kecepatan cahaya, ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif, μ_r adalah permeabilitas magnetik relatif (henry/m) dan P adalah *loss factor* ($\frac{\sigma}{\omega \epsilon}$).

Untuk material dengan *loss factor* rendah ($P \approx 0$), maka berlaku persamaan:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} m/ns \quad (2.13)$$

Di bawah ini merupakan rentang harga kecepatan gelombang radar beberapa material yang ditunjukkan oleh Tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Kecepatan dan konstanta dielektrik berbagai medium (MALA GeoScience, 1997)

Medium	ϵ_r	Kecepatan [$m / \mu s$]
Air	1	300
Fresh Water	81	33
Limestone	7 – 16	75 - 113
Granite	5 – 7	113 - 134
Schist	5 – 15	77 - 134
Concrete	4 – 10	95 –150
Clay	4 – 16	74 – 150
Silt	9 – 23	63 - 100
Sand	4 – 30	55 - 150
Moraine	9 – 25	60 - 100
Ice	3 – 4	150 – 173
Permafrost	4 – 8	106 – 150

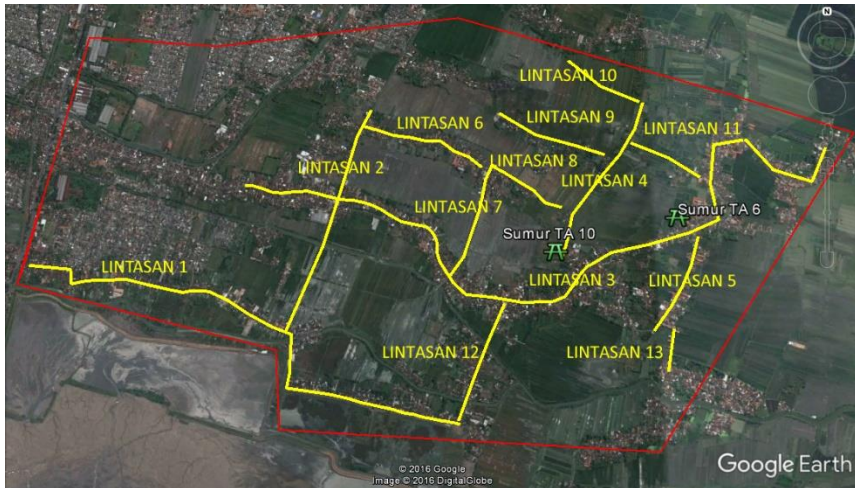
HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada di sekitar daerah rencana pengeboran sumur gas baru, Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Data yang akan diolah pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini, dimana titik Tanggulangin 6 dan Tanggulangin 10 merupakan daerah yang akan dilakukan pengeboran sumur gas baru Lapindo.



Gambar 3. 1 Lintasan pengukuran GPR dan lokasi rencana pengeboran (Sumur TA 6 dan 10) (Earth, 2016)

3.2. Peralatan dan Data

3.2.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk membantu penelitian tugas akhir ini terdiri dari:

1. Perangkat keras (*Hardware*)
 - a. 1 set alat GPR MALA 25 MHz
 - b. 1 unit GPS
 - c. 2 unit Laptop
2. Perangkat lunak (*Software*)
 - a. *Matlab* R2013A
 - b. *Microsoft Office* 2013
 - c. MATGPR 3.0
 - d. Google Earth

3.2.2. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua data yaitu.

1. Data Primer

Data hasil akuisisi GPR pada tiga lintasan di Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.

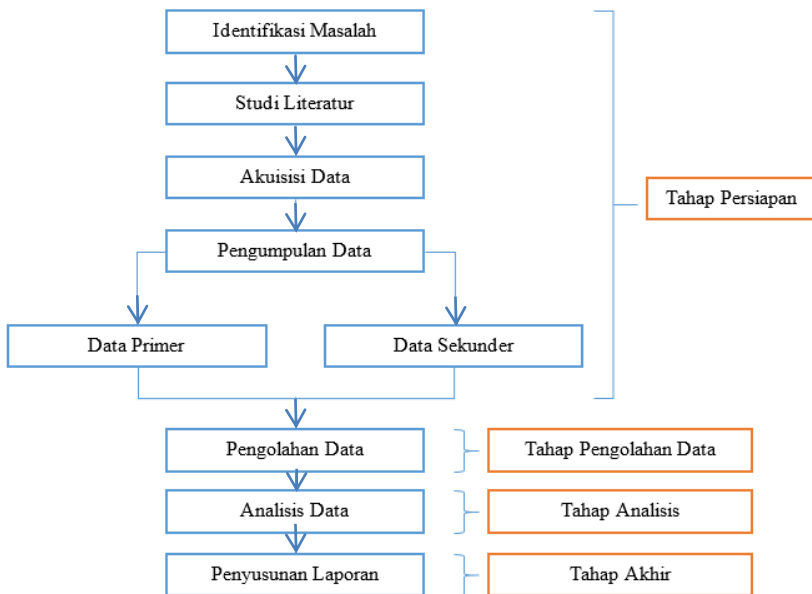
2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan adalah data *plotting* GPS untuk membantu mengidentifikasi lokasi rekahan secara akurat.

3.3. Metodologi Penelitian

3.3.1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Secara garis besar, tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penjelasan diagram alir tahapan pelaksanaan.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini dilakukan kurang lebih selama 2 bulan, mulai bulan Maret-April 2016. Tahap persiapan terdiri dari.

- a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang ada pada penelitian ini adalah untuk analisis kondisi geologi di sekitar daerah pengeboran sumur gas baru di Kecamatan Tanggulangin, Kabupaten Sidoarjo

b. Studi Literatur

Dari hasil studi literatur, didapatkan beberapa referensi jurnal, buku, dan dokumen yang mendukung tentang masalah dan penyelesaiannya dengan menggunakan metode GPR. Referensi yang digunakan dilampirkan pada bagian daftar pustaka.

c. Akuisisi Data

Akuisisi dilakukan pada tanggal 20 April 2016 - 25 April 2016. Akuisisi data dilakukan dengan alat GPR MALA 25 MHz dilokasi penelitian dengan menggunakan desain akuisisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

d. Pengumpulan Data

Data yang didapat dari hasil akuisisi sebanyak 46 data dari semua lintasan. Data *plotting* GPS direkap dan di-*input* kedalam perangkat lunak Google Earth.

2. Tahap Pengolahan Data

Pengolahan data ini dilakukan untuk mendapatkan model radargram bawah permukaan yang noise seminimal mungkin. Tahap pengolahan data dilakukan pada bulan September - Desember 2016. Penjelasan dari tahapan pengolahan data dijelaskan pada sub bab 3.3.2.

3. Tahap Analisis dan Pembahasan

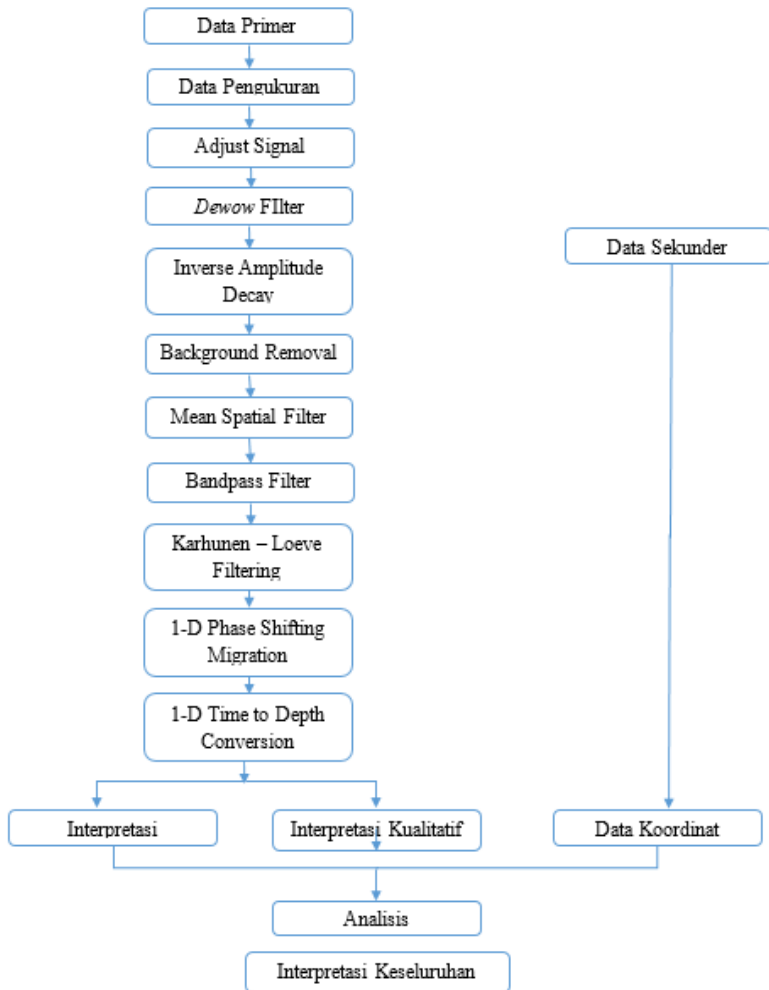
Pada penelitian ini analisis dilakukan selama dan setelah proses pengolahan data. Analisis dilakukan terhadap kondisi geologi daerah sekitar untuk diketahui sesar, rekahan, atau patahan yang ada dan juga dilakukan analisis terhadap pola rekahan berdasarkan struktur geologi daerah sekitar. Tahap analisis dan pembahasan dilakukan selama 3 bulan, yaitu pada bulan Oktober - Desember 2016.

4. Tahap Akhir

Tahap akhir dalam penelitian tugas akhir ini adalah pembuatan laporan tugas akhir dan mempresentasikan hasil. Tahapan ini dilakukan pada bulan November hingga Desember 2016.

3.3.2. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data GPR pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.4 di bawah ini:



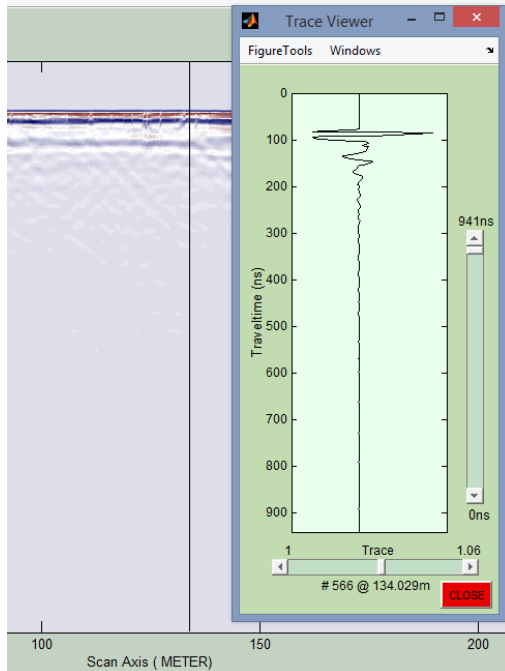
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Penjelasan diagram alir tahapan pengolahan data:

1. *Adjust Signal Position*

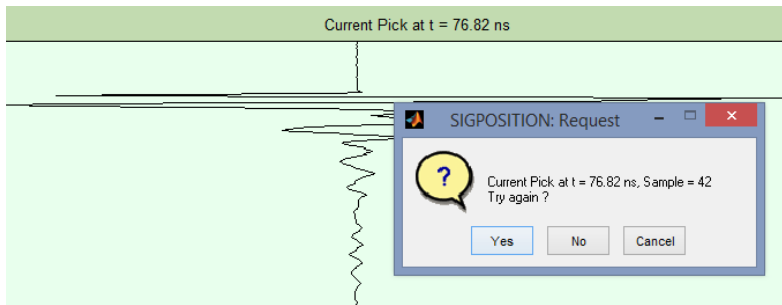
Untuk pengolahan awal data GPR, hal yang pertama dilakukan yaitu dengan melakukan penyesuaian posisi data dari sinyalnya, hal ini dilakukan karena pada saat pengukuran posisi alat tidak langsung menyentuh tanah sehingga masih memiliki jeda waktu sebelum sinyal menyentuh kontras lapisan permukaan tanah pertama. Waktu jeda antara sinyal yang terbaca pertama

hingga sampai pada kontras lapisan permukaan tanah inilah yang akan dihilangkan, karena jeda tersebut tetap terbaca dan muncul pada data mentah GPR. Proses untuk menghilangkan jeda tersebut menggunakan fungsi *adjust signal position*. Nilai yang akan dipotong dapat dipilih melalui *trace viewer* di MATGPR, seperti penampang di bawah ini:



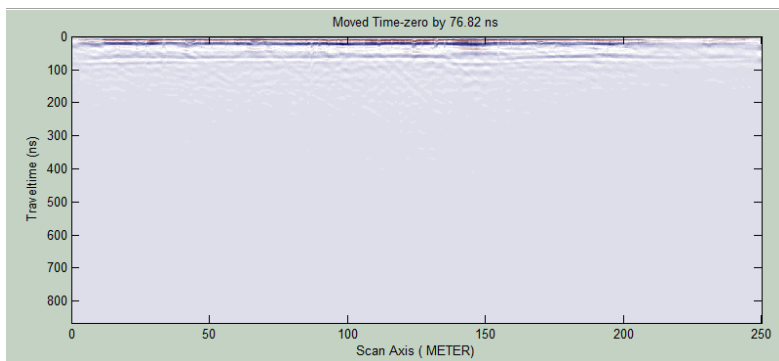
Gambar 3. 4 Proses *adjust signal position* pada *trace viewer*

Pada Gambar 3.4, terlihat bahwa pada trace bagian paling atas terdapat jeda frekuensi yang datar, hal tersebut karena sinyal hanya melewati medium udara, bagian inilah yang akan dipotong. Terlihat pada Gambar 3.5 sinyal yang dipotong antara 0-76.82 ns dengan sampel pada trace 42, nilai sinyal yang dipotong tersebut relatif sama pada setiap trace karena jarak antara alat (transmitter dan receiver) juga relatif sama terhadap kontras lapisan tanah yang pertama.



Gambar 3. 5 Proses pemilihan waktu jeda yang akan dipotong

Berikut adalah hasil setelah sinyal jeda dipotong, ditunjukkan oleh Gambar 3.6:

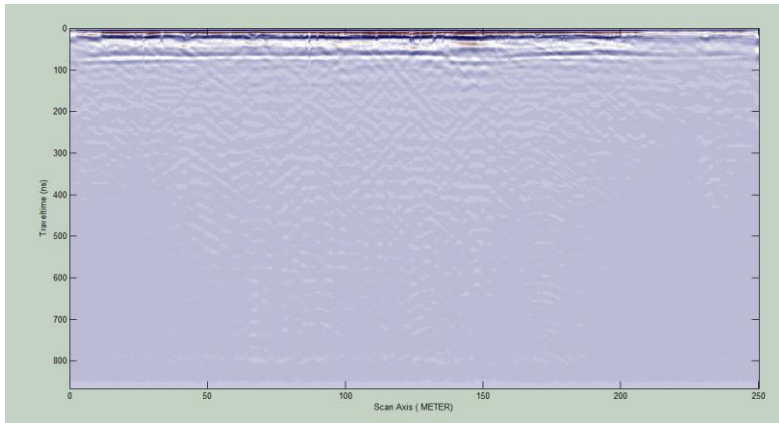


Gambar 3. 6 Hasil setelah dilakukan *adjust signal position*

Terlihat pada Gambar 3.6 bahwa waktu tiba sinyal pertama langsung melewati kontras lapisan tanah yang pertama, tanpa terlihat adanya jeda.

2. *Dewow Filter*

Dewow adalah langkah prosesing yang dilakukan untuk menghilangkan frekuensi sangat rendah yang terekam dalam radargram. Dewow termasuk kedalam temporal filtering. *Wow* adalah noise frekuensi rendah yang terekam oleh sistem radar. Terjadi akibat instrumen elektronik yang tersaturasi oleh nilai amplitudo yang besar dari gelombang langsung (*direct wave*) dan gelombang udara. Berikut adalah hasil setelah dilakukan proses dewow filter:



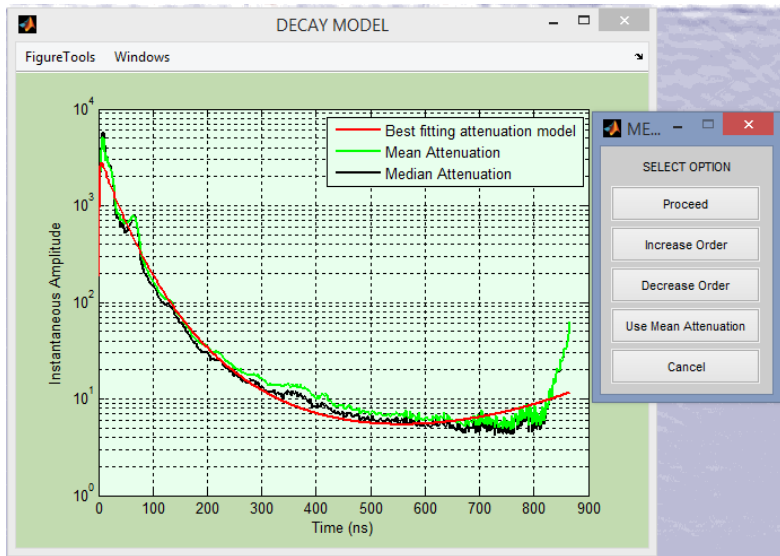
Gambar 3. 7 Hasil *dewow filter*

Apabila dibandingkan dengan proses sebelum *dewow*, pada Gambar 3.7 dapat dilihat bahwa setelah proses *dewow* beberapa reflektor sudah mulai terlihat, walaupun belum jelas atau masih samar.

3. *Inverse Amplitude Decay*

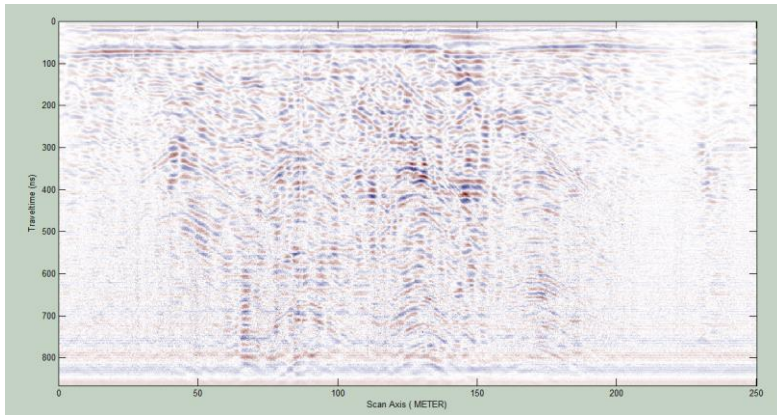
Proses *inverse amplitude decay* dilakukan untuk meningkatkan gain, peningkatan gain dilakukan karena sinyal radar sangat cepat teratenuasi ketika menjalar ke dalam permukaan bumi, sehingga sinyal dari kedalaman yang lebih tinggi menjadi sangat kecil/lemah dan informasi yang berasal dari sinyal lemah tersebut tidak begitu terlihat. Adanya pelemahan energi pada saat sinyal melewati batuan atau perlapisan tanah dan agar sinyal pada kedalaman yang lebih dalam dapat sama kuatnya dengan sinyal datang dari kedalaman yang lebih dangkal, maka perlu dilakukan proses gain.

Proses *inverse amplitude decay* dilakukan setelah proses *dewow filter* bertujuan agar noise *wow* yang merupakan noise berfrekuensi rendah tidak ikut terkuatkan sinyalnya, sehingga hanya sinyal asli yang terkuatkan. Berikut adalah penampang proses *inverse amplitude decay*:

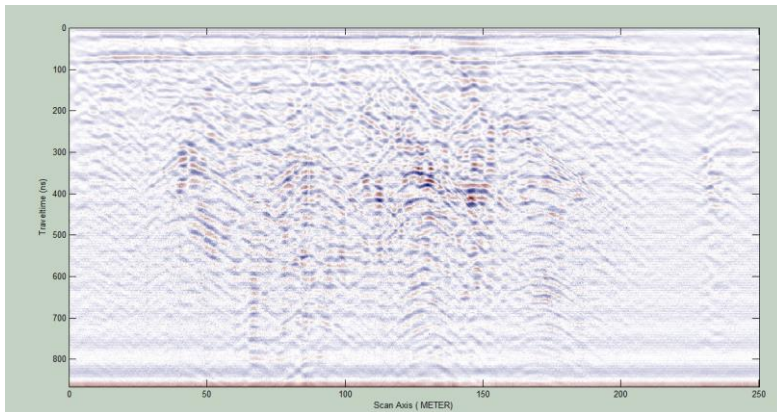


Gambar 3. 8 Hasil *dewow filter*

Terdapat dua pilihan atenuasi model yang dapat digunakan seperti ditunjukkan Gambar 3.8, yaitu *mean attenuation* dan *median attenuation*. *Mean attenuation* merupakan rata-rata atenuasi berbanding dengan waktu tiba gelombang radar, sedangkan *median attenuation* merupakan nilai tengah atenuasi dari seluruh data atenuasi pada seluruh *trace* yang terekam. Berikut adalah perbandingan hasil *inversi amplitude decay* dari *mean* (Gambar 3.9) dan *median attenuation* (Gambar 3.10):



Gambar 3. 9 Hasil dari *mean attenuation*

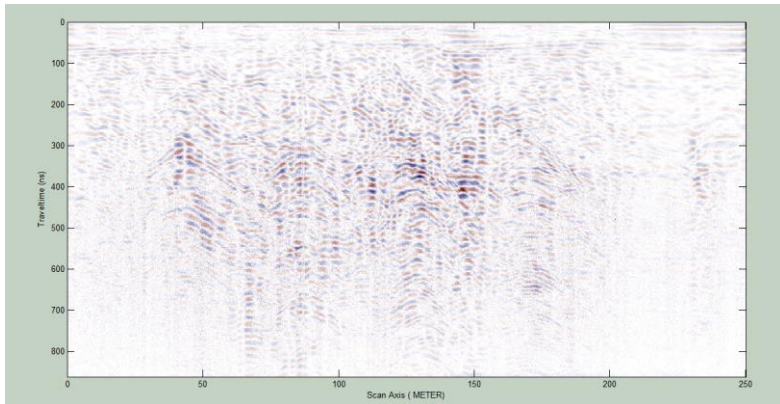


Gambar 3. 10 Hasil dari *median attenuation*

Hasil yang optimal dari *inverse amplitude decay* seharusnya menghasilkan penampang yang terang pada seluruh profil radargram. Dengan demikian, pada data lintasan 1 segmen 1, model yang cocok untuk digunakan adalah *median attenuation model*.

4. *Remove global background*

Remove global background merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan noise yang selalu muncul secara konsisten pada seluruh profil, sehingga menutupi sinyal yang sebenarnya. Efek yang dilakukan pada proses ini adalah menghilangkan energi koheren yang horizontal dengan frekuensi yang rendah. Hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 3.11 sebagai berikut:

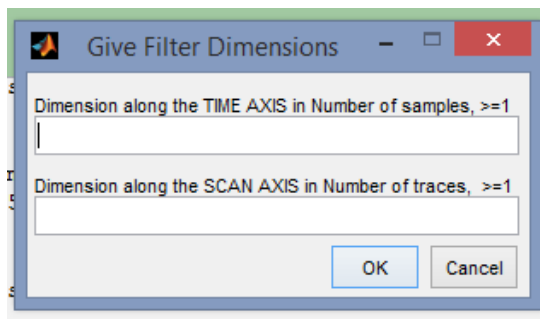


Gambar 3. 11 Hasil *remove global background*

Terlihat pada Gambar 3.11 bahwa noise yang muncul secara secara konsisten dan horizontal mulai hilang, walaupun masih terdapat beberapa noise yang masih perlu dihilangkan dengan proses filtering selanjutnya.

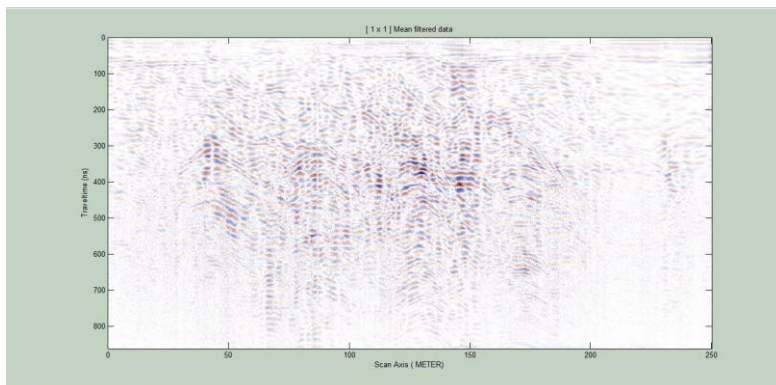
5. *Mean spatial filter*

Mean spatial filter dilakukan untuk mengurangi *random noise* dan noise berfrekuensi tinggi. Asumsi yang digunakan adalah bahwa sinyal mempunyai fase yang sama, sedangkan noise berfase acak, sehingga diharapkan dengan dilakukan *mean spatial filter* maka dapat memperkuat amplitud sinyal dan melemahkan *amplitude noise*. Parameter yang dibutuhkan dalam proses *mean spatial filter* adalah dimensi time dan scan axis seperti yang terlihat pada Gambar 3.12.

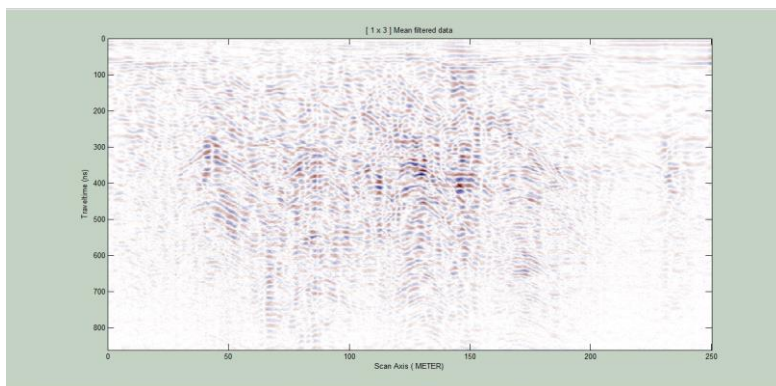


Gambar 3. 12 Proses input parameter *mean spatial filter*

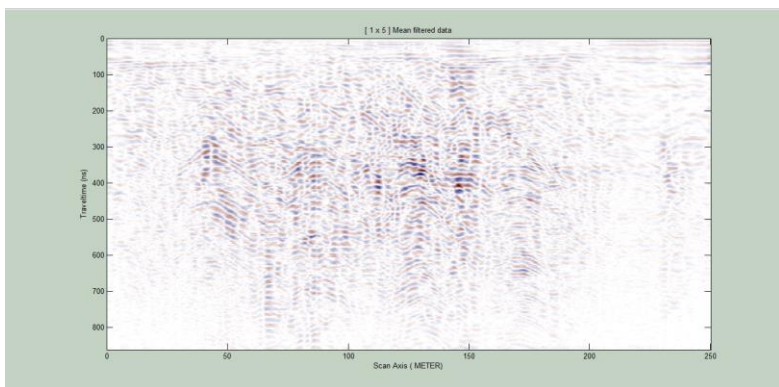
Setelah dicoba berbagai parameter pada dimensi time axis dan scan axis, dimulai dari $[1 \times 1]$ (Gambar 3.13), $[1 \times 3]$ (Gambar 3.14), $[1 \times 5]$ (Gambar 3.15), $[1 \times 8]$ (Gambar 3.16), $[5 \times 1]$ (Gambar 3.17), $[3 \times 1]$ (Gambar 3.18), dan $[8 \times 1]$ (Gambar 3.19), didapatkan hasil sebagai berikut:



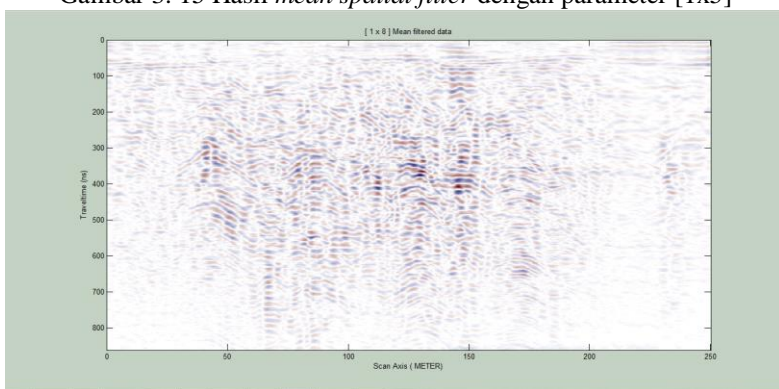
Gambar 3. 13 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter $[1 \times 1]$



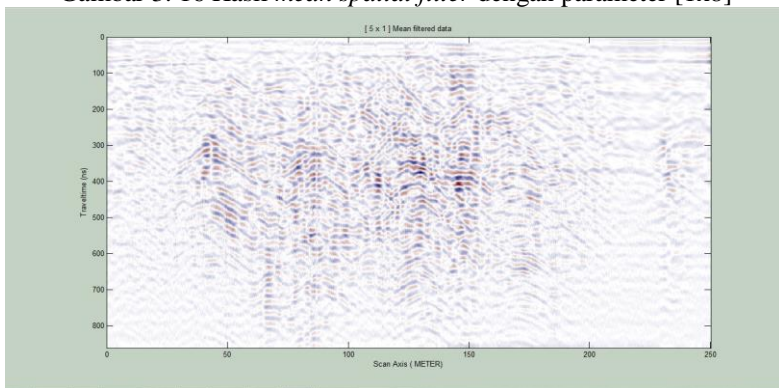
Gambar 3. 14 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter $[1 \times 3]$



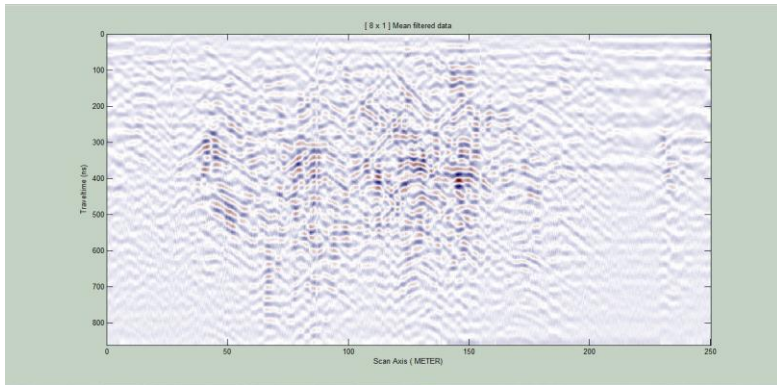
Gambar 3. 15 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter [1x5]



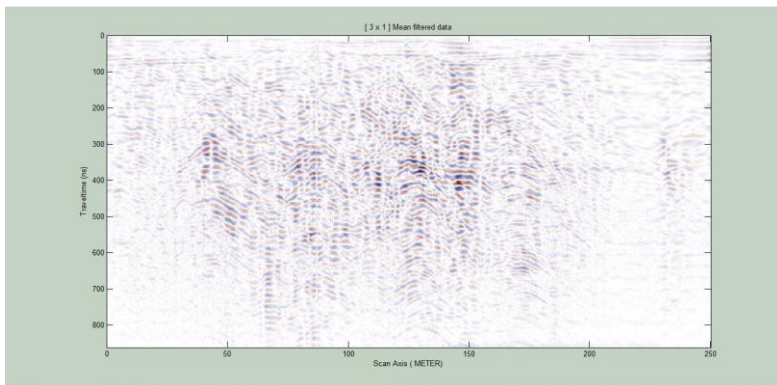
Gambar 3. 16 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter [1x8]



Gambar 3. 17 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter [5x1]



Gambar 3. 18 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter $[8 \times 1]$

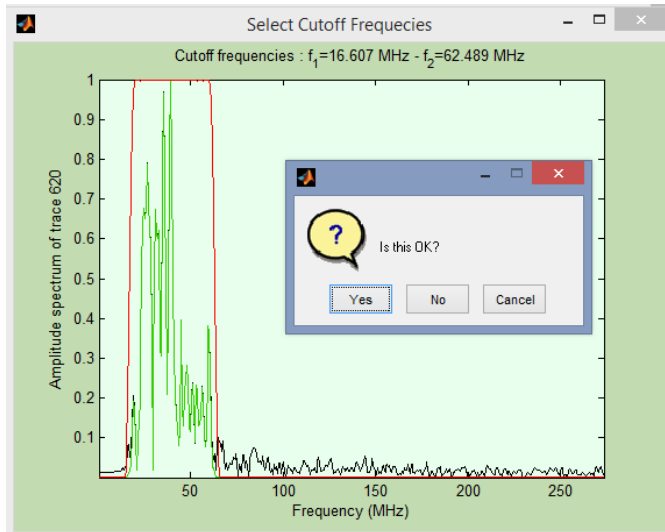


Gambar 3. 19 Hasil *mean spatial filter* dengan parameter $[3 \times 1]$

Setelah mempertimbangkan sisa noise yang ada dan tingkat smooth dari sinyal asli yang ada, maka diputuskan untuk memakai parameter $[1 \times 5]$ mean filtered spatial karena hasilnya paling optimal, smooth, dan tidak terlalu blur untuk dianalisis.

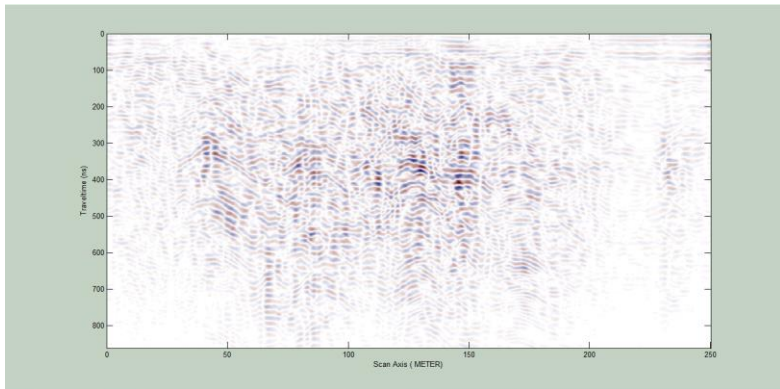
6. *Band pass filter*

Band pass filter dilakukan untuk mengambil spectrum frekuensi yang diinginkan, sesuai dengan antenna GPR yang digunakan, yaitu frekuensi dengan range tidak terlalu jauh di bawah dan di atas 25 MHz, selain dari frekuensi tersebut, maka diasumsikan sebagai noise. Berikut adalah proses pengambilan spectrum frekuensi yang diinginkan yang ditunjukkan oleh Gambar 3.20:



Gambar 3. 20 Proses *cutoff* pada *band pass filter*

Gambar 3.21 menunjukkan hasil dari *band pass filter*:



Gambar 3. 21 Hasil dari *band pass filter*

Terlihat pada Gambar 3.21 bahwa setelah dilakukan proses *band pass filtering*, maka hasilnya lebih smooth dan lebih sedikit noise yang terlihat. Hal ini dikarenakan frekuensi di luar nilai *cut off* yang diinput tidak lagi terlihat di radargram, yaitu frekuensi di luar 16-62 MHz.

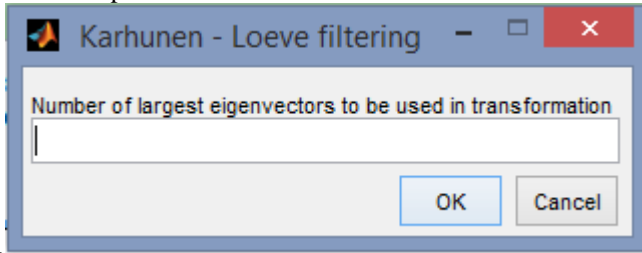
7. Karhunen Loeve Filter

Filter ini digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi noise lateral dengan memanfaatkan transformasi *Karhunen Loeve (KL)*. Transformasi KL dirumuskan dalam:

$$J_{KL}(T) = E\{\|\chi - T\chi\|^2\} \quad (3.1)$$

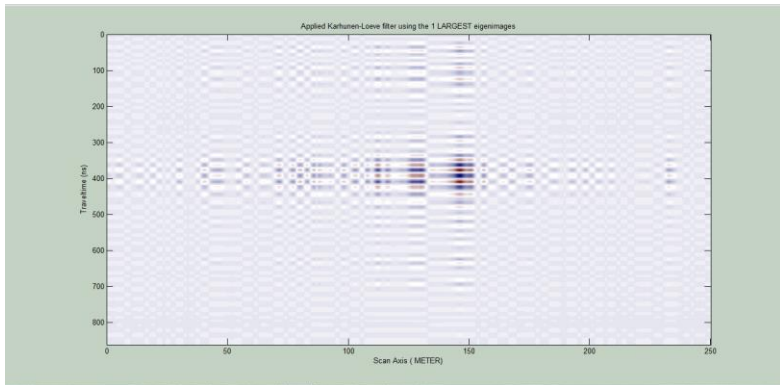
Dimana χ adalah vector acak yang berdimensi $\chi \times 1$, transformasi KL ditunjukkan oleh matriks persegi T_{KL} dari range maksimum yang memungkinkan, yaitu $m(\leq \chi)$. E merupakan ekspektasi dan $\|\ \|$ adalah *Frobenius norm*. Matriks T_{KL} menjadi matriks proyeksi dalam range m dari matriks kovarian (Hua & Liu, 1998).

Dalam proses karhunen loeve filter, parameter yang diinput adalah *number of largest eigenvectors* yang digunakan dalam transformasi *karhunen loeve*, seperti terlihat pada Gambar 3.22

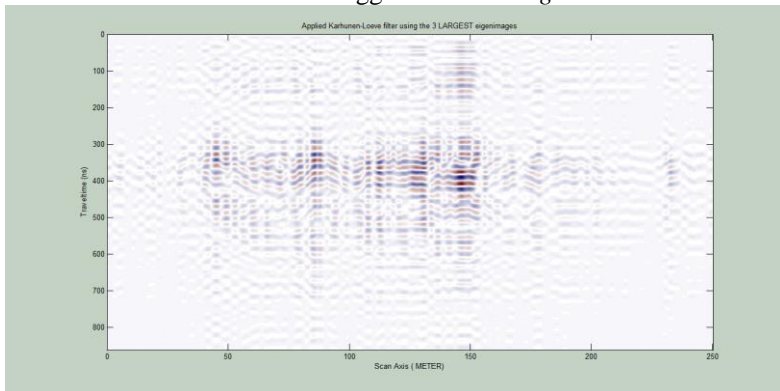


Gambar 3. 22 Proses input nilai eigenvector

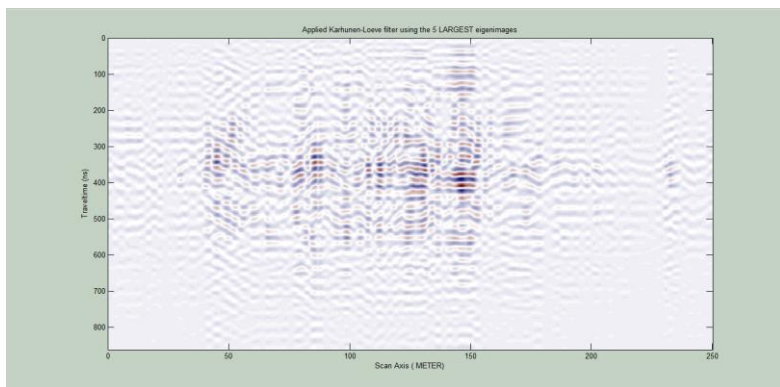
Berikut adalah hasil uji menggunakan nilai *eigenvectors* 1 (Gambar 3.23), nilai 3 (Gambar 3.24), nilai 5 (Gambar 3.25), nilai 7 (Gambar 3.26), nilai 9 (Gambar 3.27), nilai 12 (Gambar 3.28), nilai 15 (Gambar 3.29), nilai 18 (Gambar 3.30), dan nilai 21 (Gambar 3.31) pada *karhunen loeve filter*:



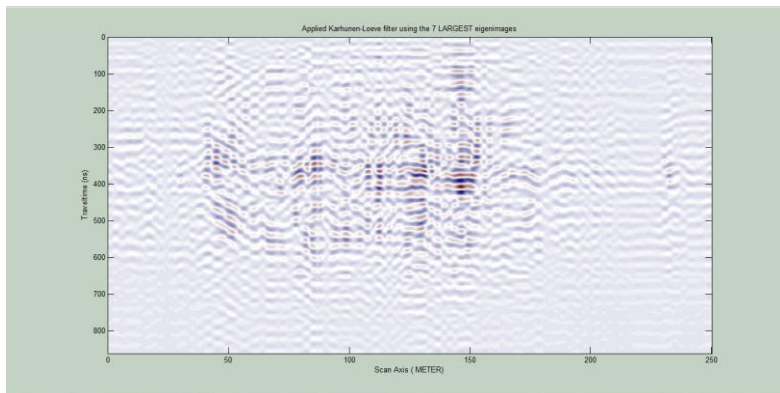
Gambar 3. 23 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 1



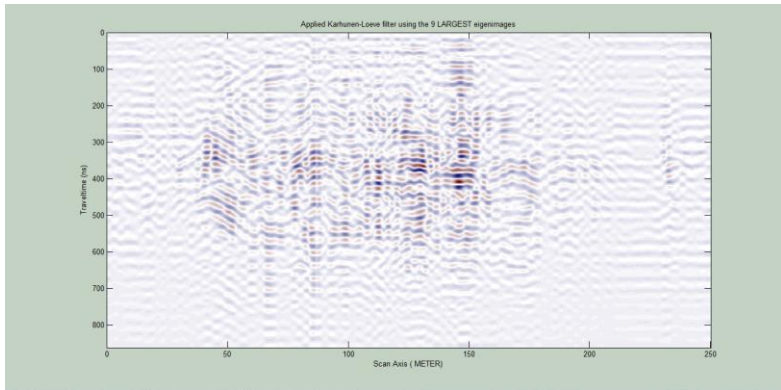
Gambar 3. 24 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 3



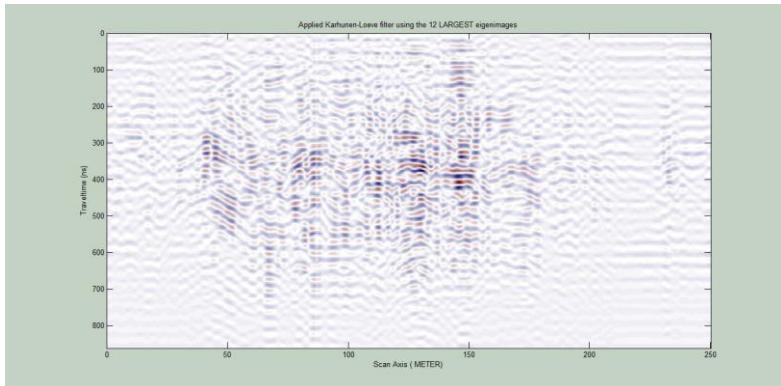
Gambar 3. 25 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 5



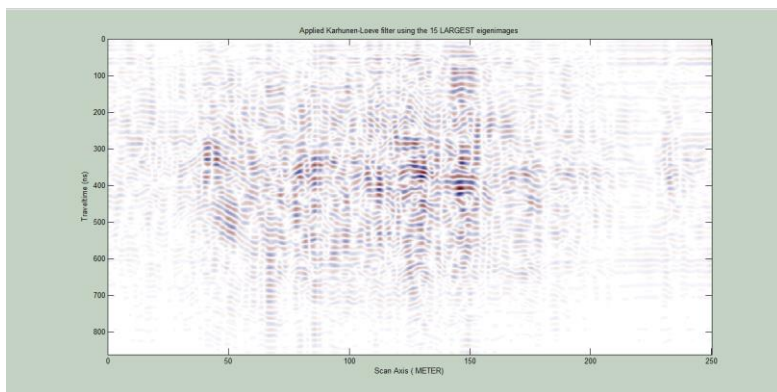
Gambar 3. 26 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 7



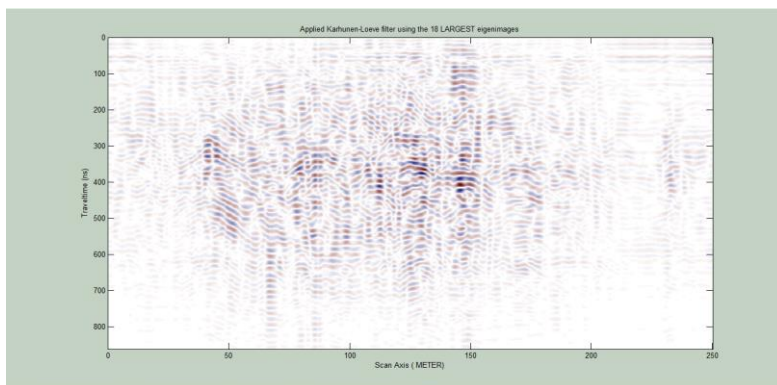
Gambar 3. 27 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 9



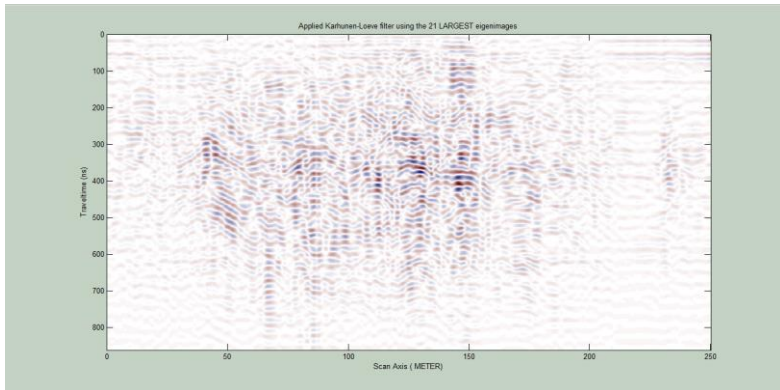
Gambar 3. 28 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 12



Gambar 3. 29 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 15

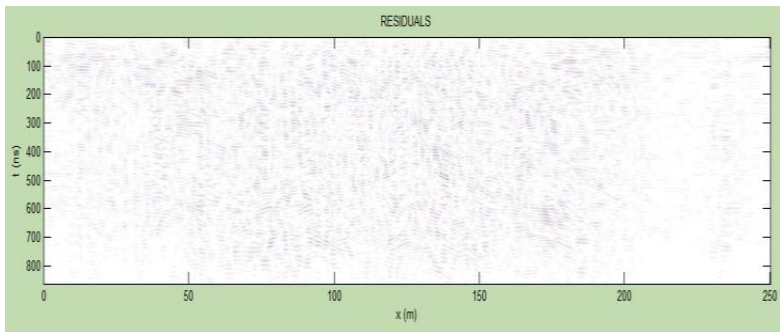


Gambar 3. 30 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 18



Gambar 3. 31 Hasil menggunakan nilai *eigenvectors* = 21

Berdasarkan hasil transformasi *karhunen loeve* dengan berbagai nilai *eigenvectors*, didapatkan nilai *eigenvectors* 15 yang paling optimal dan paling baik hasilnya pada *reconstructed data* (Gambar 3.29), pertimbangan untuk menilai hasil yang optimal dari *karhunen loeve filter* adalah kejelasan dari sinyal asli yang muncul dan sedikitnya noise yang muncul atau terlihat pada radargram, faktor lain yang diperhitungkan yaitu hasil sinyal residualnya, yang seharusnya membentuk sinyal yang teratur atau lurus, berikut adalah hasil sinyal residual dengan *eigenvectors* 15 yang ditunjukkan Gambar 3.32:

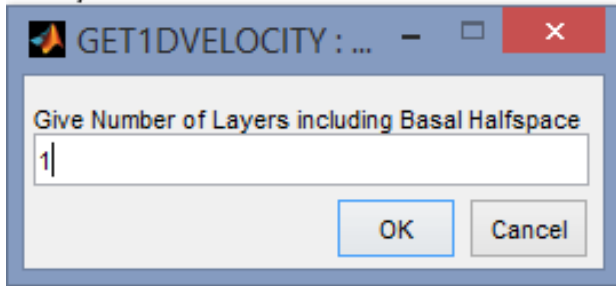


Gambar 3. 32 Hasil penampang residual menggunakan nilai *eigenvectors* 15

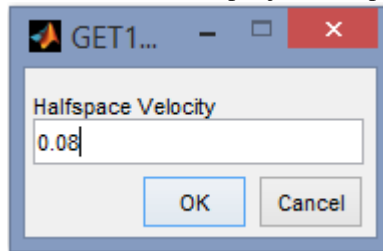
8. 1-D Velocity Model

Langkah selanjutnya adalah membuat 1-D Velocity Model dengan menentukan nilai parameter jumlah lapisan dan nilai kecepatan setiap lapisan,

Gambar 3.33 dan Gambar 3.34 berikut menunjukkan field untuk input setiap parameter:



Gambar 3. 33 Proses input jumlah lapisan



Gambar 3. 34 Proses input nilai kecepatan lapisan

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa lapisan berupa lapisan homogen dengan kedalaman antara 20-35 meter, sehingga jumlah lapisan yang diinput hanya satu. Nilai kecepatan pada lapisan adalah antara 0.05-0.1 m/ns, di mana pada tahap ini nantinya akan dicari nilai kecepatan lapisan yang paling sesuai dengan profil lapisan dengan memperhatikan hasil migrasi pada langkah prosesing selanjutnya.

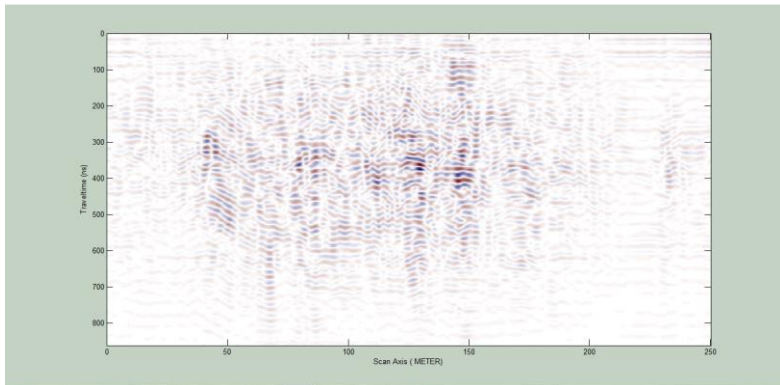
9. 1-D Phase Shifting Migration

Proses ini digunakan untuk memindahkan data GPR ke posisi yang benar secara horizontal maupun vertikal. Ketidakpastian posisi ini disebabkan oleh efek difraksi yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai ujung atau puncak suatu diskontinuitas akibat perbedaan struktur geologi seperti sesar atau lipatan.

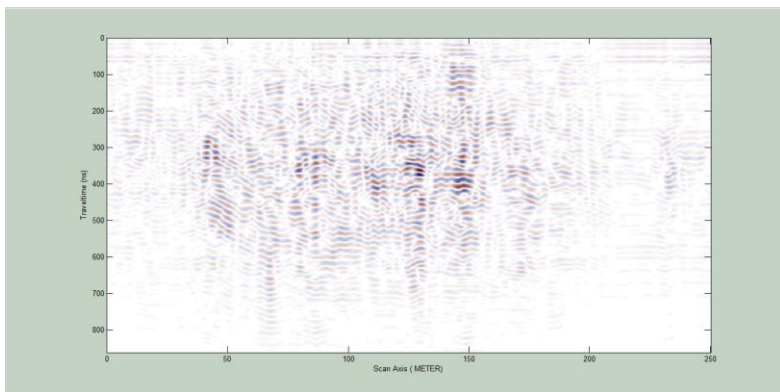
Pada MATGPPR terdapat dua fungsi migrasi 1D, yaitu *1D FK Migration* dan *1D Phase Shifting Migration*. Perbedaan dari keduanya adalah hasil migrasi dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses migrasi, *1D FK migration* memiliki kelebihan waktu pengolahan yang lebih cepat namun hasilnya kurang begitu baik karena tidak dapat memigrasi seperti kondisi

lapisan bawah permukaan yang sebenarnya, karena masih banyak ditemukan pola difraksi hiperbolik pada profil radargram. Sedangkan fungsi *1D Phase Shifting Migration* membutuhkan waktu pengolahan data yang lebih lama namun menghasilkan hasil migrasi yang jauh lebih baik dengan berkurangnya banyak pola difraksi hiperbolik sehingga profil radargram menampilkan profil mendekati pola lapisan bawah permukaan yang sebenarnya.

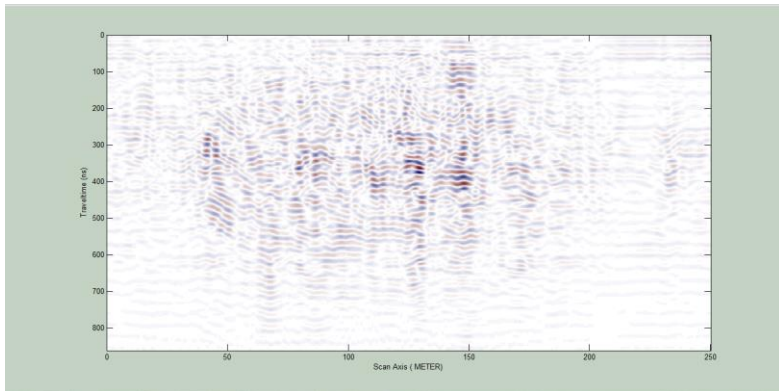
Berikut adalah hasil dari berbagai percobaan *1D Phase Shifting Migration* dengan model velocity 0.05 m/ns (Gambar 3.35), 0.06 m/ns (Gambar 3.36), 0.07 m/ns (Gambar 3.37), 0.08 m/ns (Gambar 3.38), 0.09 m/ns (Gambar 3.39), dan 0.1 m/ns (Gambar 3.40):



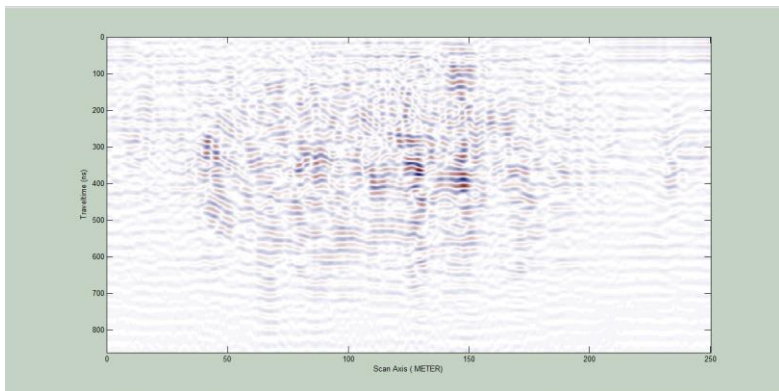
Gambar 3. 35 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan velocity 0.05 m/ns



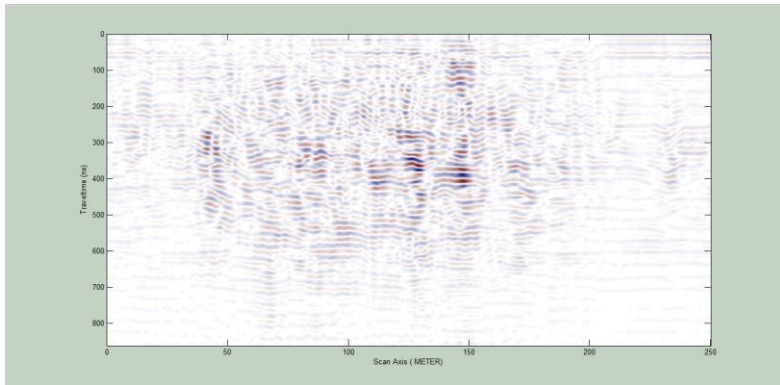
Gambar 3. 36 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan velocity 0.06 m/ns



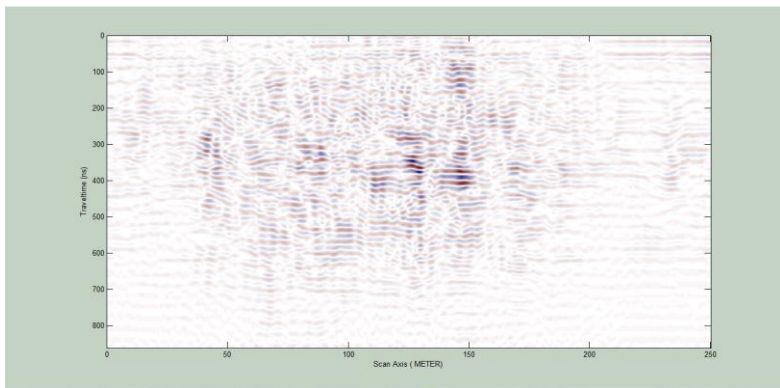
Gambar 3. 37 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan *velocity* 0.07 m/ns



Gambar 3. 38 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan *velocity* 0.08 m/ns



Gambar 3. 39 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan *velocity* 0.09 m/ns

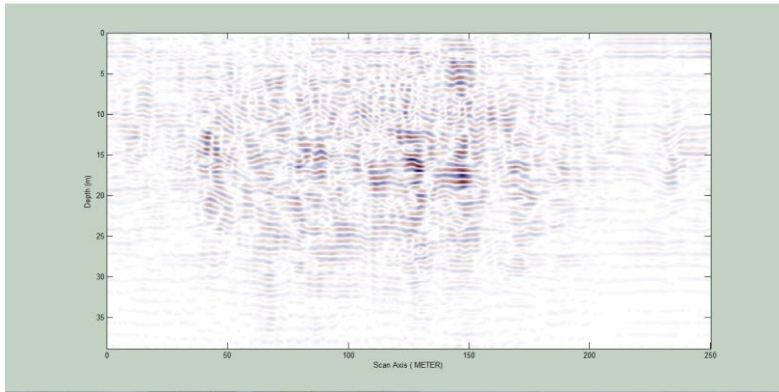


Gambar 3. 40 Hasil *1D Phase Shifting Migration* dengan *velocity* 0.1 m/ns

Dari hasil di atas, terlihat pada Gambar 3.39 bahwa pada kecepatan 0.09 m/ns menampilkan hasil paling optimal karena pola difraksi hiperbolik jauh berkurang. Sehingga parameter kecepatan lapisan 0.09 m/ns akan digunakan sebagai parameter acuan untuk pengolahan data selanjutnya.

10. *1-D Time to Depth Conversion*

Merupakan proses konversi data GPR dari domain waktu menjadi domain kedalaman. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kedalaman sebenarnya dari data penampang. Gambar 3.41 berikut adalah hasil dari *1D Time to Depth Conversion*:



Gambar 3. 41 Hasil profil GPR dengan *1D Time to Depth Conversion*

Terlihat pada Gambar 3.41 kedalaman penetrasi yang dicapai hingga 35 meter, nilai ini dipengaruhi oleh frekuensi alat GPR yang dipakai dimana pada penelitian ini digunakan frekuensi 25 MHz.

11. Analisis

Analisis ini menggabungkan hasil-hasil interpretasi kualitatif dan kuantitatif serta tambahan data sekunder yaitu data koordinat.

12. Interpretasi Keseluruhan

Didapatkan peta rekaman keseluruhan dari daerah pengukuran dan arah rekaman yang berada di sekitar daerah pengukuran.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

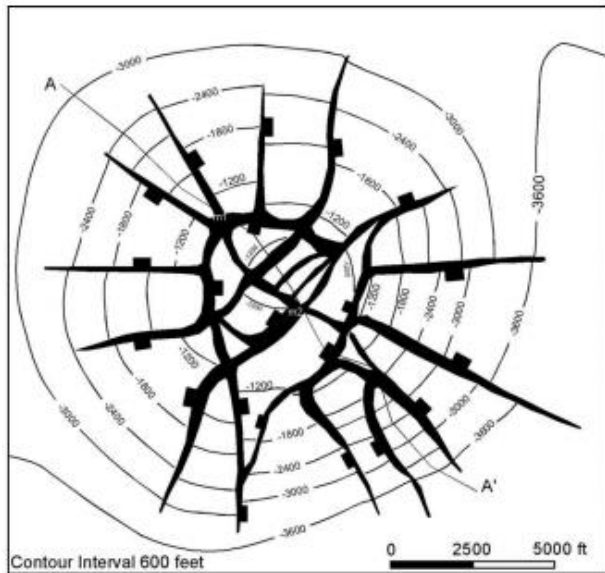
4.1. Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 1

Pengambilan data untuk lintasan 1 berada di Utara pusat semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan orientasi Barat Timur dan panjang 3 kilometer dibagi menjadi 12 segmen dengan setiap segmennya sepanjang 250 meter. Pembagian tersebut dilakukan untuk mempermudah proses pengolahan data dengan mengurangi beban perangkat lunak. Lintasan 1 didominasi oleh bahu jalan berupa tanah dan aspal dengan terdapat beberapa tiang listrik yang nantinya akan berpengaruh terhadap hasil penampang radargram karena radiasi dari medan listrik berpengaruh terhadap gelombang elektromagnetik.

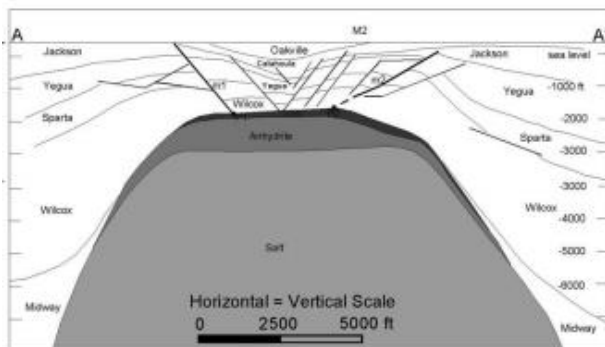
Parameter pertama yang digunakan sebagai dasar penentuan lokasi dan arah rekahan adalah pola diskontinuitas struktural yang dapat diamati secara langsung pada radargram serta data dari kondisi di lapangan saat pengambilan data, seperti adanya jembatan atau sawah. Parameter kedua adalah struktur geologi di lokasi penelitian sehingga dapat diketahui pola dan arah rekahan pada struktur geologi tersebut, di mana struktur geologi akan menjadi parameter untuk mengonfirmasi rekahan yang ditentukan oleh parameter diskontinuitas. Yin dan Jr (2004), menjelaskan bahwa struktur yang menembus (*piercement structure*) yang aktif memiliki pola rekahan yang circular (melingkar) dan radial (menjari) dengan model ditunjukkan oleh Gambar 4.1.

Struktur geologi di Lumpur Sidoarjo (Lusi) dapat dianalogikan memiliki model yang serupa dengan Gambar 4.1 karena menurut Mazzini et al (2009) yang menginterpretasikan data seismik yang melintasi lokasi semburan Lumpur Sidoarjo menyatakan bahwa terdapat struktur menembus (*piercement structure*) yang kompleks sebagai struktur geologi Lumpur Sidoarjo. Hal ini didukung oleh Istadi et al (2012), yang menjelaskan stuktur dasar dan anomaly *mud volcano* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.2.

Terlihat pada Gambar 4.2 bahwa untuk melihat rekahan, arah lintasan pengambilan data harus tegak lurus dengan jalur rekahan tersebut. Sehingga diperlukan minimal dua arah lintasan untuk dapat mengidentifikasi berbagai jalur rekahan, yaitu lintasan berarah timur barat atau sebaliknya, untuk mengidentifikasi rekahan pada jalur utara selatan atau sebaliknya, dan lintasan berarah utara selatan atau sebaliknya untuk mengidentifikasi rekahan pada jalur barat timur atau sebaliknya.

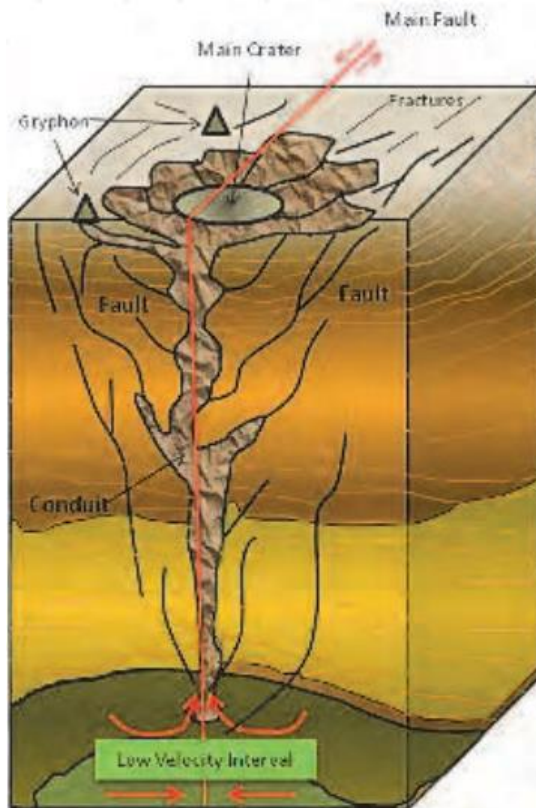


a



b

Gambar 4. 1 (a) Contoh pola rekahan pada struktur menembus aktif (active piercement structures) tampak atas, (b) penampang bawah permukaan dari pola rekahan pada stuktur menembus aktif (active piercement structures) (Yin & Jr, 2004).

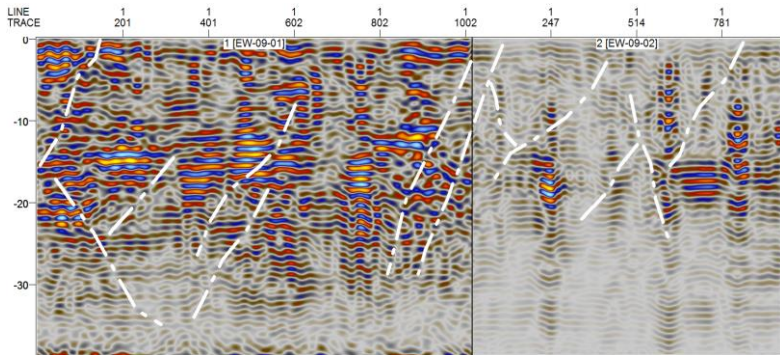


Gambar 4. 2 Struktur dasar dan anomaly *mud volcano* (Istadi, Wibowo, Sunardi, Hadi, & Sawolo, 2012)

➤ Segmen 1 dan 2

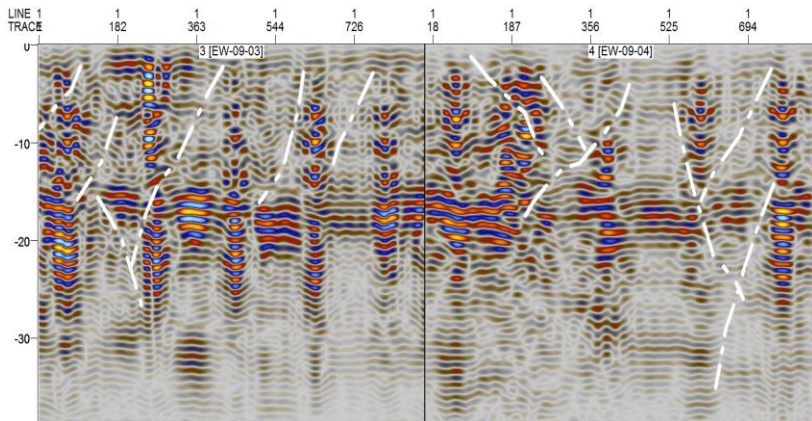
Terlihat pada Gambar 4.3 bahwa terdapat sebanyak 12 rekahan yang didominasi berorientasi timur barat dan hanya tiga yang berorientasi barat timur. Pada segmen 1, tiga rekahan pertama pada trace 1 hingga 301 (0-74 meter) berada pada kedalaman 0-700 ns (31 meter) dengan panjang rekahan 17-50 meter. Empat rekahan berikutnya memiliki dimensi yang tidak jauh berbeda dari tiga rekahan pertama, hanya berada pada jarak yang berbeda. Pada segmen satu terdapat tiang listrik yang memengaruhi penampang radargram, seperti terlihat pada sekitar trace 502 (jarak 123 meter), 752 (185 meter), dan 902 (221 meter), sehingga meski terlihat adanya diskontinuitas pada area tersebut, namun

tidak dapat diinterpretasikan sebagai rekahan karena kontras frekuensi yang tinggi tersebut akibat adanya tiang listrik. Pada lintasan 1 segmen dua, masih didominasi rekahan berorientasi timur barat, dan hanya dua yang berorientasi barat timur.



Gambar 4. 3 Radargram pada lintasan 1 – segmen 1 dan 2, barat timur.

➤ Segmen 3 dan 4

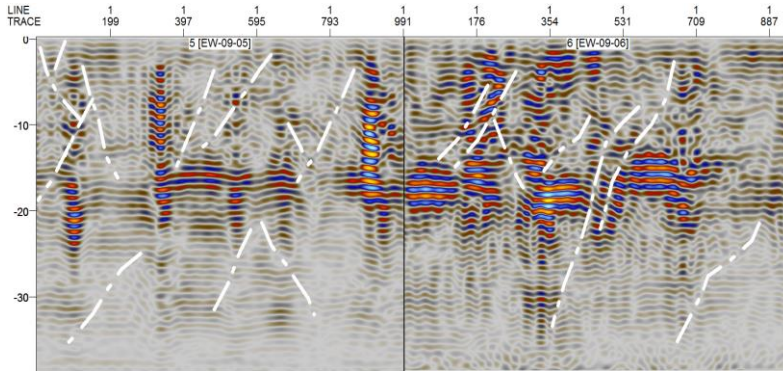


Gambar 4. 4 Radargram pada lintasan 1 – segmen 3 dan 4, barat timur.

Pada segmen tiga (Gambar 4.4) terdapat lima rekahan orientasi timur barat dan satu rekahan orientasi barat timur. Posisi rekahan berada pada jarak trace 92 (22 m), 135 (33 m), 410 (100 m), 600 (147 m), dan 770 (189 m) dengan kedalaman antara 2-27 meter. Pada segmen tiga, terlihat jelas setiap 90 trace (44 meter) terdapat kontras frekuensi yang sangat tinggi dan teratur, hal ini

disebabkan adanya tiang listrik di lokasi pengambilan data yang memengaruhi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan alat. Pada segmen 4 terdapat tiga rekahan yang berorientasi timur barat dan tiga rekahan berorientasi barat timur. Posisi rekahan berada pada jarak trace 170-760 (41-187 meter) dengan kedalaman antara 4-33 meter.

➤ Segmen 5 dan 6

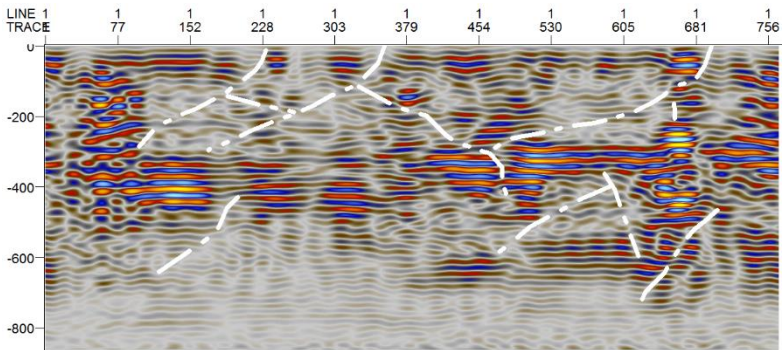


Gambar 4. 5 Radargram pada lintasan 1 – segmen 5 dan 6, barat timur.

Pada segmen 5 (Gambar 4.5 bagian kiri), terdapat tujuh rekahan yang berorientasi timur barat dan tiga rekahan yang berorientasi barat timur. Rekahan pada segmen 5 berada pada kedalaman 0-35 meter dengan panjang rekahan relatif sama yaitu antara 12-49 meter. Pada segmen 6 (Gambar 4.5 bagian kanan) rekahan didominasi rekahan yang berorientasi timur barat dan satu rekahan berorientasi barat timur.

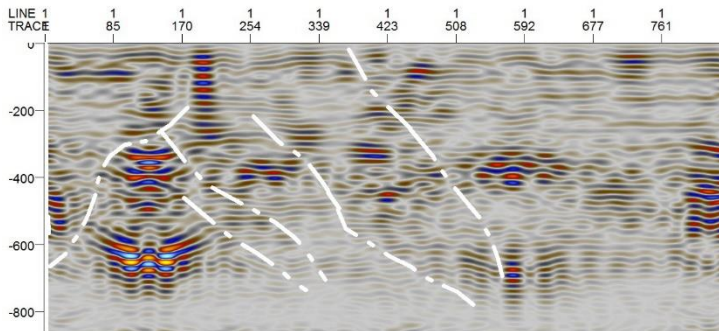
➤ Segmen 7

Pada segmen 7 (Gambar 4.6) banyak ditemukan variasi rekahan yang berorientasi barat timur maupun timur barat. Terdapat juga tiga rekahan sejajar (pada jarak trace 228, 350, dan 695) yang diantaranya terdapat dua rekahan yang berorientasinya berlawanan. Pada kedalaman 0-20 meter terdapat lima rekahan dan pada 20-33 terdapat empat rekahan.



Gambar 4. 6 Radargram pada lintasan 1 – segmen 7, barat timur.

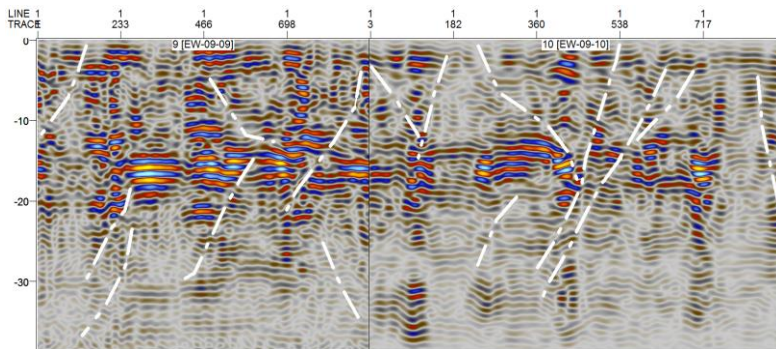
➤ Segmen 8



Gambar 4. 7 Radargram pada lintasan 1 – segmen 8, utara selatan.

Segmen 8 memiliki orientasi utara selatan karena mengikuti kondisi jalan yang berbelok, sehingga tidak mengikuti jalur lintasan yang seharusnya berorientasi barat timur, sehingga rekahan ada segmen 8 hanya dapat dikorelasikan dengan lintasan yang berorientasi selatan utara atau utara selatan juga. Pada segmen 8 (Gambar 4.7) terlihat adanya lima rekahan yang empat diantaranya memiliki orientasi utara selatan dan satu berorientasi selatan utara. Kelima rekahan berada pada jarak trace 0-540 (0-132 meter) dan pada kedalaman 0-33 meter. Panjang beberapa rekahan pada segmen 8 juga relatif sama yaitu antara 40-61 meter.

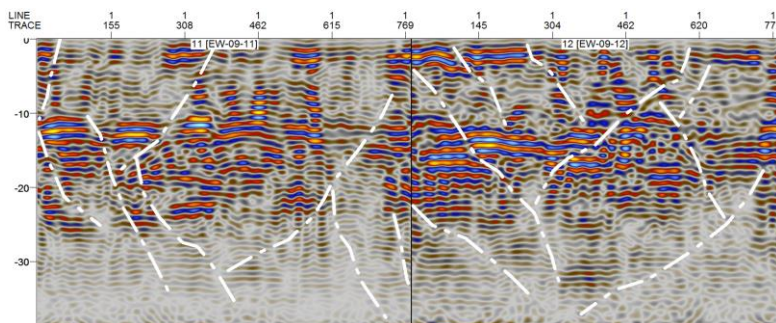
➤ Segmen 9 dan 10



Gambar 4. 8 Radargram pada lintasan 1 – segmen 9 dan 10, barat timur.

Pada segmen 9 (Gambar 4.8 kiri) banyak zona diskontinuitas yang dipengaruhi oleh medan listrik akibat adanya tiang listrik di jalur lintasan pengambilan data, terlihat kontras frekuensi yang tinggi dengan jarak setiap 54 meter yang terlihat pada sekitar trace 233, 466, dan 698 (57, 114, dan 171 meter). Sedangkan rekahan terlihat pada jarak trace 140, 250, 582, dan 900 (34, 61, 143, dan 221 meter) pada kedalaman 0-29 meter. Pada segmen 10 (Gambar 4.8 kanan) terlihat delapan rekahan yang berada di sepanjang segmen dengan kedalaman 0-27 meter. Lima rekahan berorientasi barat timur dan tiga rekahan berorientasi timur barat.

➤ Segmen 11 dan 12



Gambar 4. 9 Radargram pada lintasan 1 – segmen 11 dan 12, barat timur.

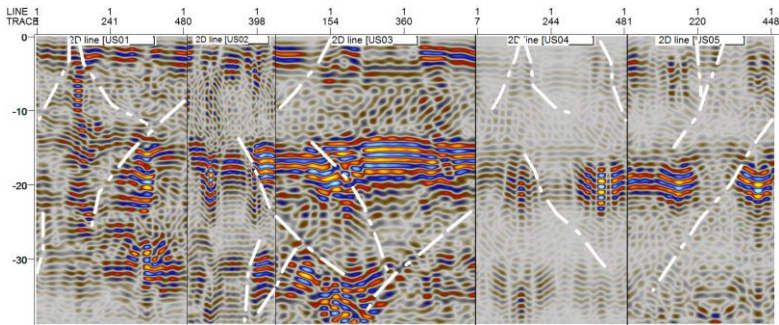
Rekahan terlihat di sepanjang segmen 11 (Gambar 4.9 kiri) dengan panjang rekahan 9-98 meter yang berada pada kedalaman 0-36 meter. Pada

segmen 12 (Gambar 4.9 kanan) terdapat tiga rekahan berorientasi timur barat dan lima rekahan lainnya berorientasi barat timur.

4.2. Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 2

Pengambilan data untuk lintasan 2 berada di utara pusat semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan orientasi selatan utara dan panjang 1.4 kilometer dibagi menjadi 14 segmen dengan setiap segmennya sepanjang 100 meter. Lintasan 2 berada pada jalan raya dengan kanan kiri berupa sawah dan terdapat tiang listrik di sepanjang lintasan dengan jarak sekitar 50 meter setiap tiang listrik, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengantisipasi kesalahan interpretasi apabila terdapat diskontinuitas pada kontras frekuensi yang tinggi secara konstan maka dapat dipastikan merupakan pengaruh dari medan listrik.

➤ Segmen 1-5

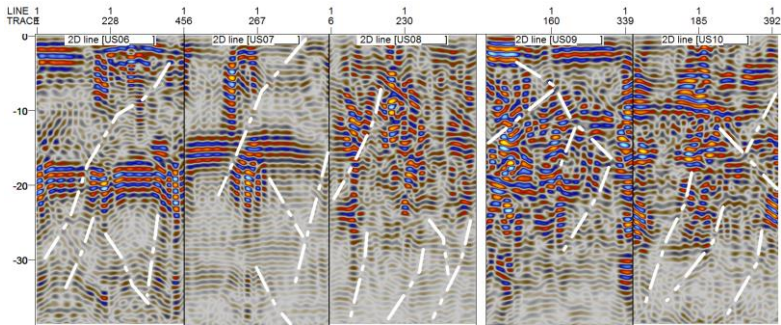


Gambar 4. 10 Radargram pada lintasan 2 – segmen 1-5, selatan utara.

Pada lintasan 2 segmen 1 (Gambar 4.10) terlihat adanya tiga rekahan pada kedalaman 0-22 meter. Dua rekahan berorientasi utara selatan dan satu rekahan berorientasi selatan utara. Pada segmen 2 terlihat tiga rekahan pada sekitar jarak trace 421 (103 meter) pada kedalaman 13-36 meter. Dua rekahan berorientasi selatan utara dan satu rekahan berorientasi utara selatan.

Rekahan pada segmen 3 merupakan kemenerusan langsung dari rekahan pada segmen 2. Titik rekahan berada di sekitar jarak trace 150 (36 meter) dengan empat rekahan berorientasi utara selatan dan satu rekahan berorientasi selatan utara. Rekahan pada segmen 4 terlihat pada kedalaman 0-36 meter pada jarak trace sekitar 175 (43 meter). Dua rekahan berorientasi selatan utara dan dua lainnya berorientasi utara selatan. Pada segmen 5 terlihat adanya rekahan pada jarak trace sekitar 229 (56 meter) pada kedalaman antara 0-31 meter. Dua rekahan berorientasi utara selatan dan satu rekahan berorientasi selatan utara.

➤ Segmen 6-10



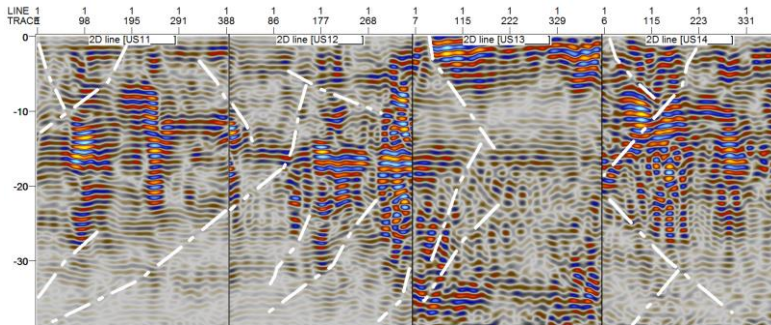
Gambar 4. 11 Radargram pada lintasan 2 – segmen 6-10, selatan utara.

Pada segmen 6 (Gambar 4.11) rekahan terlihat pada jarak trace 170 (41 meter) dan 342 (84 meter) pada kedalaman 0-36 meter. Terdapat tiga rekahan berorientasi utara selatan dan dua rekahan berorientasi selatan utara. Pada segmen 7 terlihat adanya rekahan pada jarak trace 269 (66 meter) hingga akhir segmen. Dua rekahan berorientasi selatan utara dan dua rekahan lainnya berorientasi utara selatan. Pada segmen 8 terlihat empat rekahan yang berorientasi utara selatan pada kedalaman 9-36 meter. Rekahan terlihat pada jarak trace 113 (27 meter) hingga 336 (82 meter).

Pada segmen 9 terlihat adanya rekahan pada jarak trace 90-269 (22-66 meter) pada kedalaman 4-31 meter. Tiga rekahan berorientasi utara selatan dan satu rekahan berorientasi selatan utara. Pada segmen 10, rekahan mulai terlihat pada kedalaman 11-36 meter di sekitar jarak trace 208 (51 meter). Empat rekahan terlihat berorientasi utara selatan dan hanya satu rekahan yang berorientasi selatan utara.

➤ Segmen 11-14

Pada segmen 11 (Gambar 4.12) rekahan terlihat mulai kedalaman 2-36 meter pada sekitar jarak trace 1, 195, dan 300 (0, 47, 73 meter). Empat rekahan terlihat berorientasi selatan utara dan satu rekahan berorientasi utara selatan. Pada segmen 12 terlihat adanya rekahan yang merupakan awal dari patahan pada segmen 11, yaitu pada sekitar jarak trace 177 (43 meter) pada kedalaman 6-7 meter. Tiga rekahan terlihat berorientasi utara selatan dan dua rekahan berorientasi selatan utara.



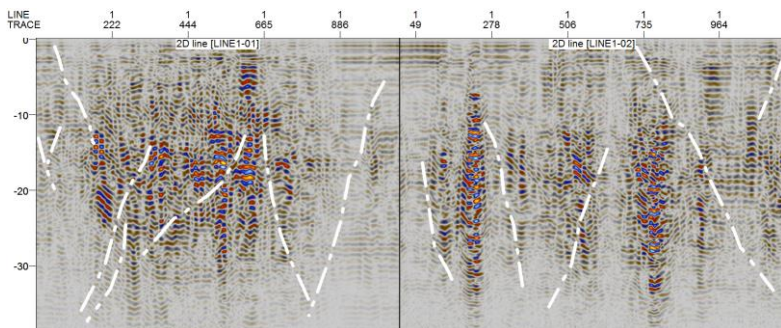
Gambar 4. 12 Radargram pada lintasan 2 – segmen 11-14, selatan utara.

Pada segmen 13 rekahan mulai terlihat pada sekitar jarak trace 40 (9 meter) pada kedalaman 0-31 meter. Terlihat dua rekahan berorientasi utara selatan dan satu rekahan berorientasi selatan utara. Pada segmen 14 terlihat adanya rekahan mulai kedalaman 0-36 meter pada jarak trace sekitar 0-218 (0-53 meter). Dua rekahan terlihat berorientasi utara selatan dan dua rekahan lainnya berorientasi selatan utara.

4.3. Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 3

Pengambilan data untuk lintasan 3 berada di utara pusat semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan orientasi barat timur dan panjang 3.5 kilometer dibagi menjadi 14 segmen dengan setiap segmennya sepanjang 250 meter. Lintasan 1 didominasi oleh bahu jalan berupa tanah dan aspal.

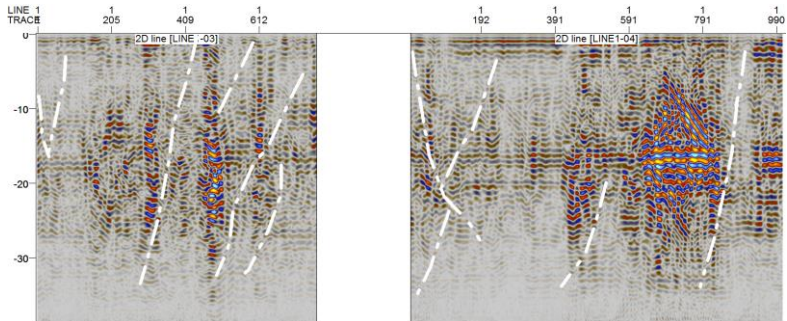
➤ Segmen 1-2



Gambar 4. 13 Radargram pada lintasan 3 – segmen 1-2, barat timur.

Pada segmen 1-2 (Gambar 4.13) terlihat 13 rekahan dengan tujuh rekahan berorientasi timur barat dan enam lainnya berorientasi barat timur. Kedalaman rekahan bervariasi dari 0 meter, namun didominasi pada kedalaman 13-14 meter.

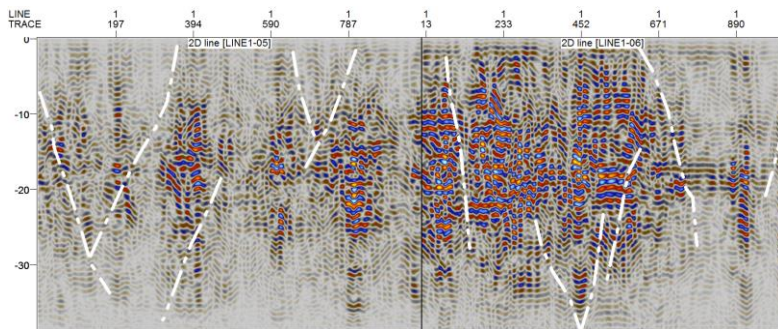
➤ Segmen 3-4



Gambar 4. 14 Radargram pada lintasan 3 – segmen 3-4, barat timur.

Pada segmen 3-4 (Gambar 4.14), didominasi oleh rekahan berorientasi timur barat dan hanya dua rekahan yang berorientasi barat timur. Kedalaman rekahan bervariasi antara 0-35 meter. Pada segmen 4 di sekitar trace 600-800 (147-196) pada kedalaman 5-15 meter terlihat adanya kontras frekuensi yang tinggi, hal tersebut diindikasikan sebagai noise berfrekuensi tinggi sehingga tidak dapat disimpulkan sebagai rekahan walaupun terdapat zona diskontinuitas.

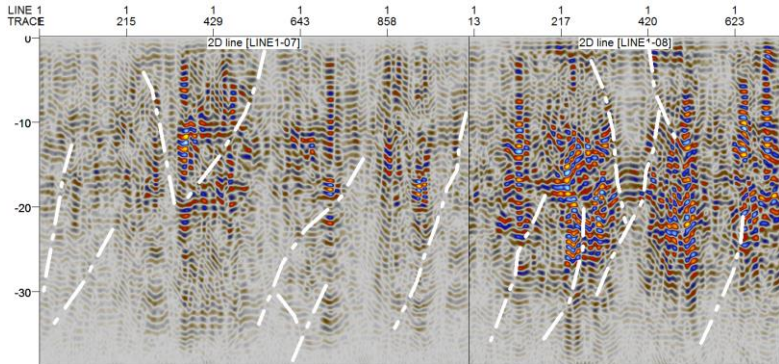
➤ Segmen 5-6



Gambar 4. 15 Radargram pada lintasan 3 – segmen 5-6, barat timur.

Pada segmen 5-6 (Gambar 4.15) terlihat adanya rekahan yang bervariasi orientasinya, yaitu tujuh rekahan berorientasi timur barat dan lima rekahan lainnya berorientasi barat timur. Kedalaman rekahan antara 0-38 meter.

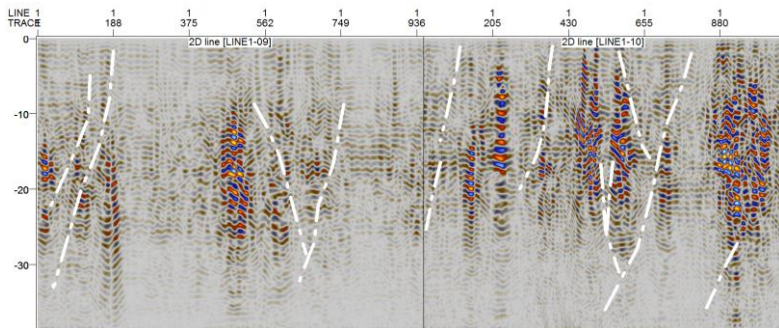
➤ Segmen 7-8



Gambar 4. 16 Radargram pada lintasan 3 – segmen 7-8, barat timur.

Pada segmen 7-8 (Gambar 4.16), terlihat 10 rekahan berorientasi timur barat dan empat rekahan berorientasi barat timur. Rekahan terlihat pada kedalaman 0-38 meter.

➤ Segmen 9-10

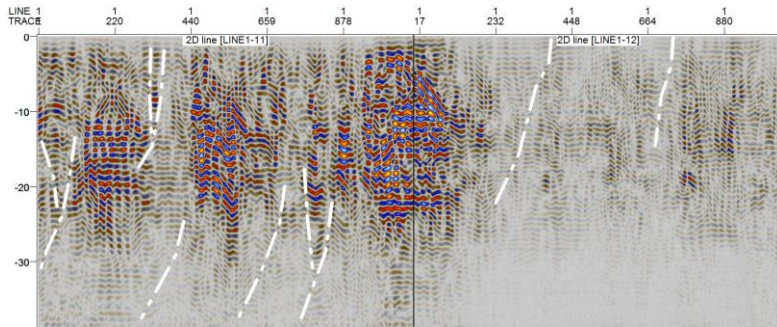


Gambar 4. 17 Radargram pada lintasan 3 – segmen 9-10, barat timur.

Pada segmen 9-10 (Gambar 4.17) terlihat lebih sedikit rekahan dibanding segmen lainnya pada lintasan 3, yaitu hanya tujuh rekahan berorientasi timur

barat dan empat rekahan berorientasi barat timur. Kedalaman rekahan antara 0-35 meter.

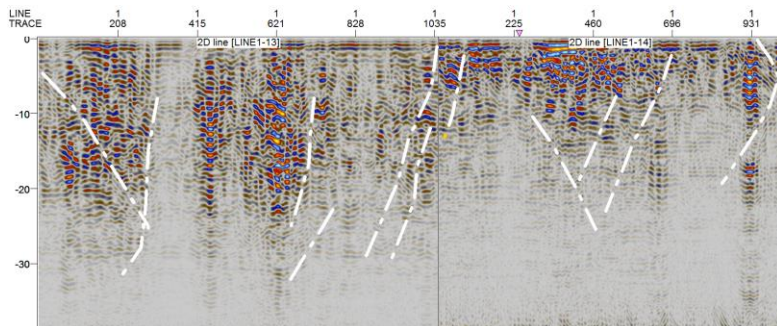
➤ Segmen 11-12



Gambar 4. 18 Radargram pada lintasan 3 – segmen 11-12, barat timur.

Pada segmen 11-12 (Gambar 4.18) terlihat lebih sedikit rekahan dengan kedalaman yang tidak merata, yaitu rekahan pada kedalaman 0-20 meter dan pada 20-38 meter. Orientasi rekahan didominasi arah timur barat dan hanya tiga rekahan yang berorientasi barat timur.

➤ Segmen 13-14



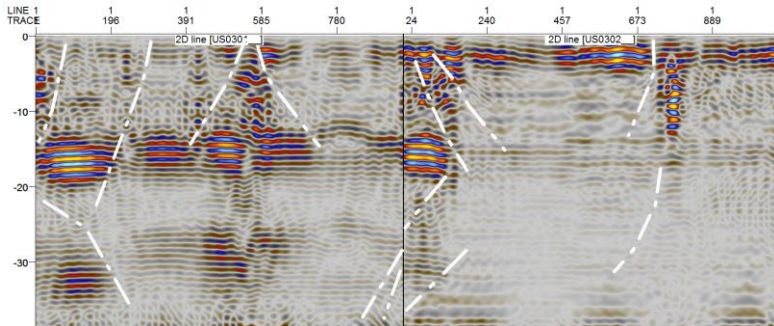
Gambar 4. 19 Radargram pada lintasan 3 – segmen 13-14, barat timur.

Pada segemen 13-14 (Gambar 4.19) terlihat banyak rekahan masih berorientasi timur barat berjumlah sembilan rekahan dan berorientasi barat timur sebanyak tiga rekahan.

4.4. Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 4

Pengambilan data untuk lintasan 4 berada di utara pusat semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan orientasi selatan utara dan panjang 1 kilometer dibagi menjadi 4 segmen dengan setiap segmennya sepanjang 250 meter. Lintasan 4 berupa kombinasi tanah dan aspal sepanjang lintasan.

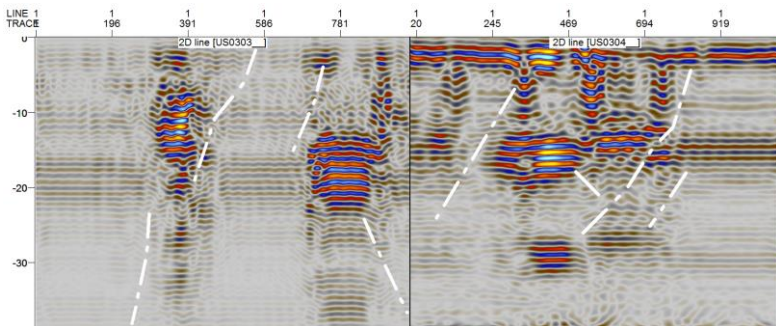
➤ Segmen 1-2



Gambar 4. 20 Radargram pada lintasan 4 – segmen 1-2, selatan utara.

Pada segmen 1-2 (Gambar 4.20) terlihat delapan rekahan berorientasi utara selatan dan empat rekahan berorientasi selatan utara. Kedalaman rekahan antara 0-38 meter.

➤ Segmen 3-4



Gambar 4. 21 Radargram pada lintasan 4 – segmen 3-4, selatan utara.

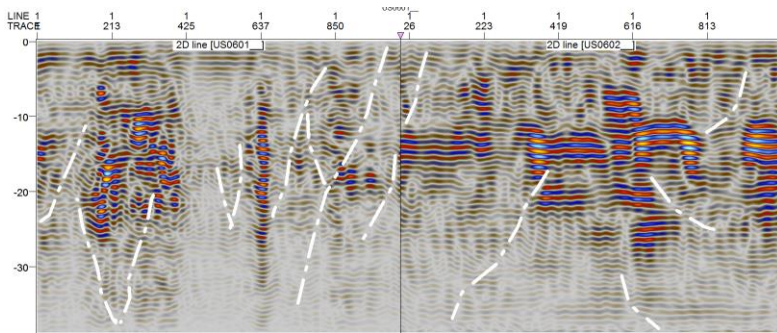
Pada segmen 3-4 (Gambar 4.21) terlihat rekahan dengan orientasi utara selatan yang mendominasi dan hanya terlihat satu rekahan yang berorientasi selatan

utara. Rekahan pada segmen 3-4 berada pada kedalaman 0-38 meter, namun didominasi pada kedalaman 5-25 meter.

4.5. Identifikasi Rekahan Pada Lintasan 5

Pengambilan data untuk lintasan 5 berada di utara pusat semburan Lumpur Sidoarjo (Lusi) dengan orientasi selatan utara dan panjang 750 meter dibagi menjadi 3 segmen dengan setiap segmennya sepanjang 250 meter. Lintasan 5 berupa kombinasi tanah dan aspal sepanjang lintasan.

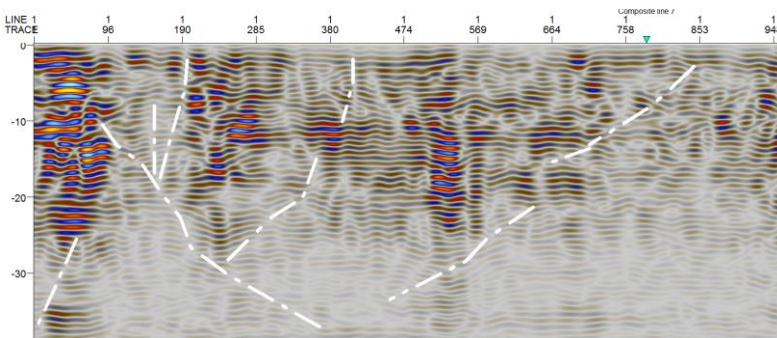
➤ Segmen 1-2



Gambar 4. 22 Radargram pada lintasan 5 – segmen 1-2, selatan utara.

Pada segmen 1-2 (Gambar 4.22) terlihat 10 rekahan berorientasi utara selatan dan lima rekahan berorientasi selatan utara. Kedalaman rekahan bervariasi antara 0-38 namun didominasi pada kedalaman 5-20 meter.

➤ Segmen 3



Gambar 4. 23 Radargram pada lintasan 5 – segmen 3, selatan utara.

Pada segmen 3 (Gambar 4.23) terlihat empat rekahan berorientasi utara selatan dan dua rekahan berorientasi selatan utara. Kedalaman rekahan berada pada 0-38 meter.

4.6. Analisis Pola Rekahan

Lintasan 1 (kecuali segmen 8) dan 3 berorientasi barat timur dan berada di utara pusat semburan Lusi, sehingga hanya rekahan pada jalur selatan-utara, tenggara-barat laut, dan barat daya-timur laut yang akan tampak pada lintasan berorientasi barat timur. Lintasan 2, 4, dan 5 berorientasi selatan utara dan berada di utara pusat semburan Lusi, hanya rekahan yang berada pada jalur barat hingga timur yang akan tampak pada radargram lintasan berorientasi selatan utara.

Gambar 4.24 merupakan hasil *overlay* radargram dari seluruh lintasan pengukuran terhadap peta daerah pengukuran. *Overlay* ini digunakan untuk mengetahui posisi rekahan sebenarnya pada daerah pengukuran. Dari hasil *overlay* ini, terlihat banyak sekali rekahan-rekahan yang berada di daerah penelitian. Rekahan-rekahan ini merupakan indikator bahwa daerah penelitian ini tidak stabil.

Apabila rekahan pada orientasi yang sama dihubungkan dan di-*overlay* dengan peta lapisan bawah permukaan, maka terlihat suatu pola rekahan yang terbagi menjadi dua tipe pola rekahan, yaitu pola rekahan circular yang berpola melingkari pusat semburan Lusi dan pola rekahan radial atau menjari, yang mengarah ke pusat semburan Lusi, seperti terlihat polanya pada Gambar 4.25. Rekahan pada jalur barat daya-timur laut dan berada pada sisi utara pusat stuktur merupakan rekahan jenis radial yang menjalar memanjang relatif lurus dari pusat semburan. Rekahan yang tampak berada pada arah barat laut-tenggara merupakan rekahan circular yang menyebar dan mengelilingi pusat semburan.

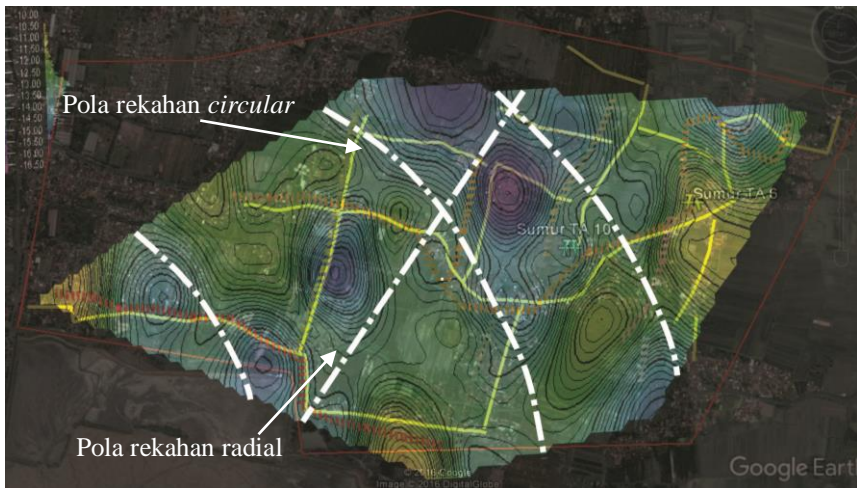


(a)



(b)

Gambar 4. 24 *Overlay* penampang radargram dari setiap lintasan pengukuran untuk mengetahui posisi-posisi rekahan pada peta daerah penelitian, (a) tampak dari barat daya, (b) tampak dari timur.



Gambar 4. 25 Hasil *plotting* rekahan teridentifikasi ke dalam peta permukaan dan di-*overlay* dengan peta lapisan bawah permukaan, membentuk pola rekahan radial dan *circular*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Rekahan terlihat pada seluruh radargram lintasan pada kedalaman 0-36 meter dengan panjang rekahan 9-61 meter.
2. Terdapat dua pola rekahan, yaitu rekahan berarah barat daya-timur laut dan berada di utara pusat semburan merupakan jenis rekahan radial yang menjalar lurus atau menjari dari pusat semburan; dan rekahan berarah barat laut-tenggara merupakan jenis rekahan *circular* yang menyebar seperti lingkaran dari pusat semburan.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil dan kesimpulan untuk membangun hipotesa-hipotesa selanjutnya adalah:

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan akurat terhadap sebaran dan pola rekahan, lintasan pengukuran dapat diperbanyak dengan berbagai variasi orientasi sehingga dapat mengidentifikasi lebih banyak variasi arah rekahan, karena faktor keberhasilan identifikasi rekahan adalah arah pengukuan yang tepat dan sesuai struktur geologi daerah penelitian.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan metode geofisika lain sebagai pembandingan hasil posisi dan letak dari rekahan.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- BPLS. (2010). *Rencana Strategi (RENSTRA) BPLS 2010-2014*. Sidoarjo: BPLS.
- Denya, R. A. (2007). *Penggunaan Transformasi Radon Dalam Mengurangi Deraw/Noise Pada Data Ground Penetrating Radar (GPR)*. Bandung: Departemen Fisika ITB.
- Earth, G. (2016, Agustus 11). Google Earth. Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.
- Handoko, Godwin, K. B., & U, H. (2010). Penafsiran Struktur Geologi Bawah Permukaan di Kawasan Semburan Lumpur Sidoarjo, Berdasarkan Penampang Ground Penetrating Radar (GPR). *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 5 No. 3, 187-195.
- Hua, Y., & Liu, W. (1998). Generalized Karhunen-Loeve Transform. *The IEEE Signal Processing Letters*, 5(6), 141-142.
- Istadi, B. P., Harmono, G. H., Sumintadireja, P., & Alam, S. (2009). Modeling study of growth and potential geohazard for LUSI mud volcano: East Java, Indonesia. *Marine and Petroleum Geology*, 1724–1739.
- Istadi, B. P., Wibowo, H. T., Sunardi, E., Hadi, S., & Sawolo, N. (2012). Mud Volcano and Its Evolution. *Earth Sciences*, 376-434.
- Kazunori, T., Jan, I., Holger, P., & Seiichiro, K. (2012). Basics and Application of Ground Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process. *Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management*, 155-180.
- MALA GeoScience*. (1997).
- Mazzini, A., Nermoen, A., Krotkiewski, M., Podladchikov, Y., Planke, S., & Svensen, H. (2009). Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structure. *Implication for the Lusi mud volcano, Indonesia*, 1751-1765.
- Orfanidis, S. J. (2002). *Electromagnetic Waves and Antennas*. Piscataway: Rutgers University .

- R. Smyth, H., Hall, R., & J. Nichols, G. (2008). Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. *The Geological Society of America*, 436.
- Reynold, J. M. (1997). An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics. England: John Wiley and Sons, inc.
- Sungkono, Alwi, H., Hardi, P., Ayi S, B., Fernando A, M. S., & Bagus J, S. (2014). The VLF-EM imaging of potential collapse on the LUSI embankment. *Journal of Applied Geophysics*, 218-232.
- Tjia, M. (1994). *Gelombang*. Solo: Dabara Publisher.
- Yin, H., & Jr, R. H. (2004). Balancing and restoration of piercement structures: geologic insights from 3D kinematic models. *Journal of Structural Geology*, 99-114.

PROFIL PENULIS



Ilham Adi Pratama dilahirkan di Malang, 16 Juni 1994 dari pasangan Bapak Achmad Kusyairi dan Ibu Inul Suchaina. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di MI Islamiah Malang yang lulus tahun 2006. Pada tahun 2009 lulus dari SMPN 3 Kuta Selatan. Pendidikan menengah ditempuh di SMKN 1 Denpasar dengan Program Studi Rekayasa Perangkat Lunak. Setelah lulus SMK pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, diantaranya menjadi Kepala Departemen Eksternal Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika (HMTG) ITS periode 2014-2015, Kepala Hubungan Luar ITS untuk HMGI Regional IV tahun 2013, dan Ketua dari Divisi Kajian Strategis *Society of Petroleum Engineers* (SPE) SC ITS. Penulis juga memiliki publikasi tentang dampak penambangan batu kapur terhadap recharge area di Kabupaten Tuban yang dipublikasikan di seminar Internasional CITIES pada tahun 2013. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di Pertamina EP3 *Field* Subang di Departemen QHSE untuk mengevaluasi sistem sirkulasi dengan *water base mud* di *rig service subang field*. Diskusi lebih jauh mengenai tugas akhir penulis, dapat menghubungi ilham.adhy@gmail.com